INTRODUCTION À L'ÉTUDE DE

L'ELECTROTONUS DES NERFS

MOTEURS ET SENSITIFS

CHEZ L'HOMME.

THÈSE PRÉSENTÉE À LA FACULTÉ DE MÉDICINE
DE BÂLE

PAR

ARMAND DE WATTEVILLE.

ROYAL COLLEGE OF SURGEONS OF ENGLAND
30 JAN 91
LIBRARY

LONDRES: IMPRIMERIE DE RANKEN ET CIE.,
DRURY HOUSE, ST. MARY-LE-STRAND, W.C.

1883.

DRURY HOUSE
ST MARY LE STRAND

PRÉFACE.

Les pages qui suivent sont destinées à servir d'introduction à des travaux plus détaillés et étendus que j'ai entrepris avec mon ami Auguste Waller, et qui ont pour but d'établir une électro-physiologie de l'homme vivant. Dans toutes les expériences sur l'électrotonus des nerfs moteurs par la méthode unipolaire, il a pris sa large part ; les expériences par la méthode bipolaire, celles sur les nerfs sensitifs, ont été faites par moi seul, tandis que mon collaborateur s'occupait d'autres recherches. Toutefois nous avons résolu, en vue du travail final qui doit un jour couronner l'édifice, mettre en commun toutes nos recherches préliminaires individuelles. Aussi je prie le lecteur qui voudrait citer ou réfuter les faits contenus dans cette thèse de bien vouloir les citer ou les réfuter sous nos noms collectifs.

Ce travail n'est, l'ai-je dit, qu'une esquisse préliminaire. Les conditions qui régissent l'expérimentation sur l'homme vivant y sont longuement développées, tandis que les résultats obtenus jusqu'ici, quoique le fruit d'expériences multipliées et laborieuses, n'y sont qu'affirmés au point de vue de leur existence. Tous les phénomènes enregistrés doivent maintenant être étudiés séparément et en détail, au point de vue de leur mode d'origine, de leur intensité et de leur durée sous des conditions diverses.

Je n'ai pas inséré ici de tracés illustratifs, parce que la Société Royale de Londres nous a fait l'honneur de les publier dans ses "Philosophical Transactions" pour 1882

(planches 64 et 65), avec une note descriptive ("On the alterations of excitability in the motor nerves of man during and after the passage of a galvanic current," by Waller and Watteville).

Il ne sera pas inutile peut-être de rappeler au lecteur que sous le nom d'électrotonus je n'entends que les modifications subies par les nerfs quant à leur excitabilité. Les problèmes que soulèvent la question des courants propres du nerf, et les théories émises pour les expliquer, sont entièrement étrangers aux phénomènes qui font le sujet de ce travail.

Je n'ose espérer, après avoir fait mes études et demeuré plus de vingt années dans un pays étranger, m'exprimer avec toute la pureté et la délicatesse qui caractérisent les auteurs de langue française. J'espère toutefois avoir réussi à exprimer clairement ma pensée, même alors que la complexité des phénomènes à décrire rendait ma tâche un peu difficile.

ARMAND DE WATTEVILLE.

LONDRES, *décembre* 1882.

TABLE DES MATIÈRES.

HISTORIQUE.

PAGE

Expérience de Ritter et sa critique au point de vue de l'électrotonus ... 1
Remak 2
Fick : première expérience sur l'électrotonus chez l'homme 3
Eulenburg, Ziemssen, Erb 3
Helmholtz : son explication 4
Samt, Cyon 4
Brückner et Runge : méthode unipolaire 5
Effets consécutifs.—E. Remak 6

CONDITIONS À REMPLIR.

Critique générale des recherches précédentes 9
Différences entre l'expérimentation sur l'homme et sur le nerf isolé ... 9
Théorie des deux zônes électriques, ou électrodes virtuelles, sous une seule électrode 10
Preuves expérimentales de leur réalité 11
Raisons en faveur de la méthode unipolaire dans les expériences sur le corps vivant 12
Les deux courants doivent être joints dans le même circuit 14

APPAREILS.

Dispositif de nos appareils 14
Méthode graphique appliquée à nos recherches 16
Nécessite d'expérimenter sur soi-même 18

PRÉCAUTIONS À PRENDRE.

Sources d'erreurs dans nos expériences : chimiques et physiques ... 18
Effet du rhéostat sur les courants induits : explication 19
Polarisation des électrodes et des tissus 21
Nous évitons ces sources d'erreur par " la méthode d'élimination " ... 22
Courants de polarisation : leur influence sur les effets consécutifs... ... 23
Sources d'erreur physiologiques 24
Effets électrotoniques pendant une série d'excitations faradiques ou galvaniques 25
Disparition graduelle de AOC 26

MÉTHODE UNIPOLAIRE.

PAGE
Description générale de la marche des expériences 26
Preuve de l'électrotonus chez l'homme par l'excitation galvanique ... 29
Nous avons aussi employé la méthode minimale 29
Preuve de l'électrotonus par l'excitation faradique 30
Expériences faisant supposer l'invasion de la zône anodique par le catélectrotonus 30

MÉTHODE BIPOLAIRE.

Expériences sur l'électrotonus avec la méthode bipolaire... 35
Épreuve faradique 36
Épreuve galvanique 38

EXCITATIONS MÉCANIQUES.

Preuve de l'électrotonus par les excitations mécaniques 39

EFFETS CONSÉCUTIFS.

Investigation des modifications consécutives à l'électrotonus 41

EFFETS DE LA COMMUTATION.

Discussion des "Alternatives Voltianes."—Théorie de Brenner 44

ÉLECTROTONUS DES NERFS SENSITIFS.

Description de la méthode et précautions nécessaires 46
Addition latente d'excitations sous-minimales des troncs nerveux de l'homme 48
Preuve de l'électrotonus des nerfs sensitifs par le courant galvanique et par le courant faradique : uniformité des résultats obtenus ici et sur les nerfs moteurs 50

LOI DES CONTRACTIONS.

La "loi des contractions" chez l'homme déduite des faits de l'électrotonus et des principes physiques établis dans ce travail 52
Hypothèse pour expliquer la réaction de dégénérescence 55
Hypothèse pour expliquer le tétanos d'ouverture et de fermeture ... 57

BIBLIOGRAPHIE.

Du Bois Reymond, "Untersuchungen über thierische Elektricität," 1848-49; et "Gesammelte Abhandlungen," 1872.

Hermann, "Handbuch der Physiologie," vol. ii., 1879.

Eckhard, "Beiträge zur Anatomie und Physiologie," 1855.

Pflüger, "Der Elektrotonus," 1859.

Ritter, "Beiträge zur nähere Kenntniss des Galvanismus," Jena, 1802.

Remak, "Galvanotherapie," 1859; "Leçons sur l'application du courant continu," Paris, 1865.

Baierlacher, "Zeitschrift fur rationelle Medicin," sér. 3, vol. v.

Chauveau, "Théorie des effets physiologiques produits par l'électricité," *Journal de la Physiologie*, 1859-1860; et "Comptes Rendus," 1875-1876.

Brenner, "St. Petersburger Med. Zeitschrift," vol. iii.; et "Untersuchungen auf dem Gebiete der Elektrotherapie," Leipzig, 1868-1869.

Fick, "Medicinische Physik," 1866.

Eulenburg, "Ueber elektrotonisirende Wirkung des constanten Stromes," Deutsches Archiv f. Klin. Medicin, 1867.

Erb, "Ueber elektrotonischen Erscheinungen," et "Galvanotherapeutische Mitthoilungen," ibid.

Helmholtz, Communication orale au "Naturhistorisch-Medicinischer Verein," Heidelberg, 1867.

Samt, "Der Elektrotonus am Menschen," Berlin, 1868.

Brückner, "Ueber die Polarisation des lebenden Nerven in Menschen," Deutsche Klinik, 1868, 1871.

Runge, "Der Elektrotonus am lebenden Menschen," Deutsches Archiv., 1870.

Ziemssen, "Die Elektricität in der Medicin," 4ne édit.

Cyon, "Principes d'Electrothérapie," Paris, 1873.

Filehne, "Die elektrotherapeutische und die physiologische Reizmethode," Deutsches Archiv, 1870.

Richet, "Etude sur la Sensibilité," Paris, 1878.

Hällsten, Nordiskt Med. Arkiv, 1880. (Sur l'électrotonus des nerfs sensitifs.)

DE L'ELECTROTONUS DES NERFS MOTEURS ET SENSITIFS CHEZ L'HOMME.

La première expérience faite sur l'homme ayant trait aux altérations de l'excitabilité des nerfs moteurs produites par le passage d'un courant galvanique, paraît avoir été faite par Ritter (1802). Plongeant les mains dans deux bassins pleins d'eau et reliés aux deux pôles d'une batterie, il trouva qu'un fort courant, après avoir circulé pendant un temps assez long, faisait naître dans le bras qu'il remontait une sensation de motilité exagérée, dans l'autre bras une sensation de motilité diminuée. Ces sensations persistaient pendant un certain temps après la rupture du courant, et atteignaient dans le premier un certain degré de raideur, dans l'autre un état d'agitation. — Cette expérience a depuis lors été citée par un grand nombre d'auteurs comme contenant, en germe, la doctrine de l'électrotonus. Autant que nous pouvons nous en assurer, personne ne l'a cependant confirmée depuis par de nouvelles expériences. Nous l'avons nous-même répétée, mais n'avons pu nous convaincre de l'exactitude de la description de Ritter. Nous ne pouvons non plus accepter sans arrière-pensée l'explication des phénomènes rapportés, d'après les principes bien connus de l'électrotonus. On suppose que (si le courant remonte le bras droit et descend le bras gauche, par exemple) la diffusion du courant ayant lieu dans la partie supérieure du tronc est telle qu'à un certain point du plexus brachial droit la presque totalité du courant qui remontait les nerfs les quitte, et qu'à ce point nous avons un état de choses qui équivaut à un pôle, à une

cathode virtuelle. De même, à un certain point du plexus brachial gauche les courants dérivés du tronc créent par leur convergence un pôle du nom opposé, une anode virtuelle. Ainsi s'établit un catélectrotonus du plexus droit, un anélectrotonus du plexus gauche ; et ainsi s'explique le sentiment de motilité exagérée dans le bras droit, diminuée dans le bras gauche.

Il nous semble que cette explication (de faits, nous le répétons, dont la réalité n'est pas assurée) laisse à désirer en ce que les phénomènes de l'électrotonus sont notoirement prompts à se manifester, tandis que dans l'expérience de Ritter il faut une demi-heure pour que les résultats s'accusent. De plus, il est difficile d'expliquer la persistance de la diminution de motilité dans le bras gauche après la rupture du courant, en présence du fait bien connu de la modification positive, laquelle succède à l'état anélectrotonique.

L'histoire de l'électro-physiologie ne renferme aucun fait se rapportant au sujet qui nous occupe, jusqu'à ce que nous arrivions à Remak. Stimulé par les expériences de Eckhardt sur les nerfs de la grenouille, et l'interprétation donnée par cet physiologiste à certain de ses résultats, Remak institua sur les nerfs de l'homme une série de recherches sur le soi-disant effet "paralysant" du courant galvanique. Ces recherches, faites dans des conditions expérimentales insuffisantes, ne méritent pas de nous arrêter longtemps : elles n'ont d'importance que pour l'histoire de l'électro-thérapeutique. Il nous suffire ici de mentionner le fait que Remak fut ainsi amené à nier l'action "paralysante," et à établir au contraire l'action "stimulante" du courant—action qu'il illustra par ses résultats obtenus dans le traitement galvanique de la paralysie.

Les brillantes généralisations de Pflüger vinrent répandre un jour nouveau sur la question si embarrassée des effets de l'électricité sur les nerfs moteurs. Les progrès de l'électro-thérapie devaient nécessairement amener des essais tendant à la démonstration sur les nerfs de l'homme vivant des phénomènes électrotoniques observés sur la grenouille

préparée. Mais les conditions sont bien différentes dans les deux cas, et l'on ne doit pas s'étonner si les résultats furent d'abord nuls ou contradictoires.

Fick chercha à démontrer l'électrotonus sur le nerf cubital de son propre bras, mais ne put y parvenir. Il attribue son manque de succès à la faiblesse des courants polarisateurs qu'il employait — explication erronée, ce nous semble, en égard à la facilité avec laquelle l'électrotonus se produit et à la force de la batterie employée par cet observateur.

Eulenburg, bientôt après, publia un travail dans lequel il prétend avoir obtenu sur l'homme la démonstration de l'anélectrotonus et du catélectrotonus extrapolaire descendant par la méthode suivante. Il polarisait un nerf au moyen de deux petites électrodes fixées sur son parcours. Puis il éprouvait l'irritabilité de ce nerf par un courant induit, dont un pôle (positif) était relié à une plaque fixée sur le sternum, tandis que l'autre (négatif) aboutissait à une petite électrode placée sur le nerf au dessous de la portion polarisée.

Ziemssen fit plus tard quelques expériences sans obtenir de résultats bien convaincants. Il reproche à celles d'Eulenburg que les différences dans les réactions du nerf qu'on y observe sont dues non à des altérations d'excitabilité, mais à des variations dans la force de courant excitateur. Le courant polarisateur, dit-il, augmente ou diminue la force du courant induit selon que leur direction relative est dans le même sens ou dans le sens opposé.

Erb, dont les recherches furent contemporaines à celles d'Eulenburg, arriva à des conclusions diamétralement opposées. Il trouva, en éprouvant l'irritabilité du nerf au dessous du courant polarisateur, qu'il y avait diminution lorsque ce courant était descendant, augmentation lorsqu'il était ascendant. En d'autres termes, qu'il y avait anélectrotonus près de la cathode, catélectrotonus près de l'anode. Cette contradiction en apparence absolue entre les résultats obtenus sur le nerf humain et sur le nerf de

la grenouille disparut cependant devant l'explication qu'en donna l'illustre Helmholtz. Il démontra, par les lois de la diffusion électrique et le fait de la conductivité relative des tissus, que, dans l'expérience d'Erb (comme dans celle citée plus haut de Ritter), le nerf doit être soumis non loin de l'électrode à l'action d'un pôle du signe opposé — autrement dit, que près de la cathode actuelle se trouve sur le nerf une anode virtuelle, près de l'anode réelle une cathode virtuelle. Une expérience cruciale d'Erb vint confirmer la déduction de Helmholtz. Il excita le nerf au point même d'application de l'électrode polarisatrice, et obtint aussitôt des résultats conformes aux données de la physiologie. En même temps il soumit les expériences d'Eulenburg à une investigation nouvelle sans pouvoir confirmer les conclusions de cet auteur. L'électrotonus dans le voisinage de l'électrode était toujours du signe opposé à celui de l'électrode.

Samt, suivant les mêmes méthodes que ses devanciers, étudia l'électrotonus extrapolaire descendant. Au milieu de la confusion de ses résultats, il est difficile de le suivre dans ses conclusions, qui sont les mêmes que celles d'Eulenburg. Il semble choisir arbitrairement un certain nombre d'exemples comme typiques parce qu'ils rentrent sous la formule de Pflüger. La plus grande partie de ses données est douteuse, étrange, contradictoire. Ainsi il décrit des oscillations subites par lesquelles l'un des électrotonus passe dans l'autre. Il donne comme causes de variations, mais sans en démontrer la réalité, les changements de place des électrodes, les modifications imprimées au nerf par les stimulations précédentes, enfin "l'inconstance de la matière nerveuse." Cette dernière existe, selon lui, dans tout nerf qui n'est pas absolument sain.

Cyon fit aussi quelques expériences pour déterminer les changements dans l'excitabilité du nerf cubital humain au dessous du point de polarisation. A cet effet il fixa le bras au moyen dun moule de plâtre dans lequel les électrodes étaient maintenues immobiles, comme Helmholtz l'avait fait avant

lui dans ses expériences sur la vitesse de la vibration nerveuse.

Les mouvements d'adduction du pouce étaient transmis à un levier qui les enregistrait sur un appareil à cylindre tournant. Les modifications dans l'excitabilité se déduisaient de l'amplitude variable de l'excursion du levier. L'auteur rapporte deux expériences où la diminution de l'excitabilité, et deux autres où l'augmentation, correspondaient à la formule de Pflüger. Les autres résultats, paraît-il, furent douteux ou contradictoires — ce qu'il explique, comme Samt, en invoquant une inconstance pathologique du nerf.

Brückner et Runge firent quelques expériences selon la méthode suivie par Pflüger (ainsi que Eckhardt et Bezold) dans l'investigation de ce qu'il nomme "l'excitabilité totale du nerf," c'est à dire en reliant le courant galvanique et le courant faradique en un seul circuit, et les faisant passer par deux électrodes. Brückner trouva que lorsque les deux courants circulent dans la même direction, l'effet est augmenté à chacune des deux électrodes, principalement à celle qui contient la double cathode. Au contraire, lorsque les deux courants ont une direction opposée, l'effet est diminué avec chacune des électrodes, surtout à celle qui contient l'anode galvanique et la cathode faradique. Malheureusement pour la thèse qu'il soutient (que ces modifications dans les effets obtenus sont d'origine physologique, dus à des altérations dans l'excitabilité du nerf, et non de nature physique, dus à une influence réciproque des courants), Brückner n'a pas su tirer parti de cette observation importante. De plus, il avance en preuve un fait inexact : que l'effet du courant induit de fermeture n'est pas augmenté par un courant galvanique circulant dans le même sens.

Runge classifie ses expériences en trois catégories. Dans la première il se servit de la même méthode que Brückner, et observa également une augmentation de l'effet du courant faradique lorsque le courant gal-

vanique circulait dans le même sens ; une diminution lorsque ce courant circulait dans la direction opposée. — Dans la seconde catégorie il se sert d'un arrangement complexe qu'il nous est inutile de décrire au long ici, et qui lui donne des résultats identiques. — Dans la troisième il place une électrode du courant faradique sur le nerf, et une électrode du courant galvanique dans son voisinage, et constate une augmentation de l'effet lorsque ces électrodes sont du même signe, une diminution lorsqu'elles sont de signes opposés. — Il cherche à prouver par le raisonnement que l'augmentation et la diminution dans les effets du courant faradique observée par lui et les auteurs précédents s'explique par " l'addition ('Summation') des forces électromotrices " mises en jeu : ces forces s'additionnent lorsque les pôles du même nom sont unis ; de là augmentation de l'effet produit. Le contraire a lieu lorsque ce sont les pôles de signes opposés qui se trouvent ensemble. En l'absence de preuves obtenues avec d'autres stimulants que l'électricité (tels que stimulants mécaniques, etc.), il conclut que tous les phénomènes attribués à une altération électrotonique du nerf humain sont dus simplement à des modifications d'intensité subies par le courant d'épreuve.

Le but principal de toutes les recherches que nous venons d'énumérer a été la détermination de l'état électrotonique du nerf ; cependant, en plusieurs endroits, les auteurs cités mentionnent les modifications d'excitabilité qui succèdent à la rupture du courant polarisateur. Leurs résultats toutefois laissent fort à désirer par l'incertitude qui ces environne. Ils sont, de plus, fragmentaires et contradictoires. Ainsi Eulenburg dit que l'altération électrotonique après l'ouverture du courant diminue graduellement. — Pour Samt, au contraire, la modification positive qui succède à l'état anélectrotonique est un phénomène charactéristique ; mais il ajoute qu'elle est troublée par des oscillations consécutives négatives et positives. — Cyon a de même observé la modification positive.

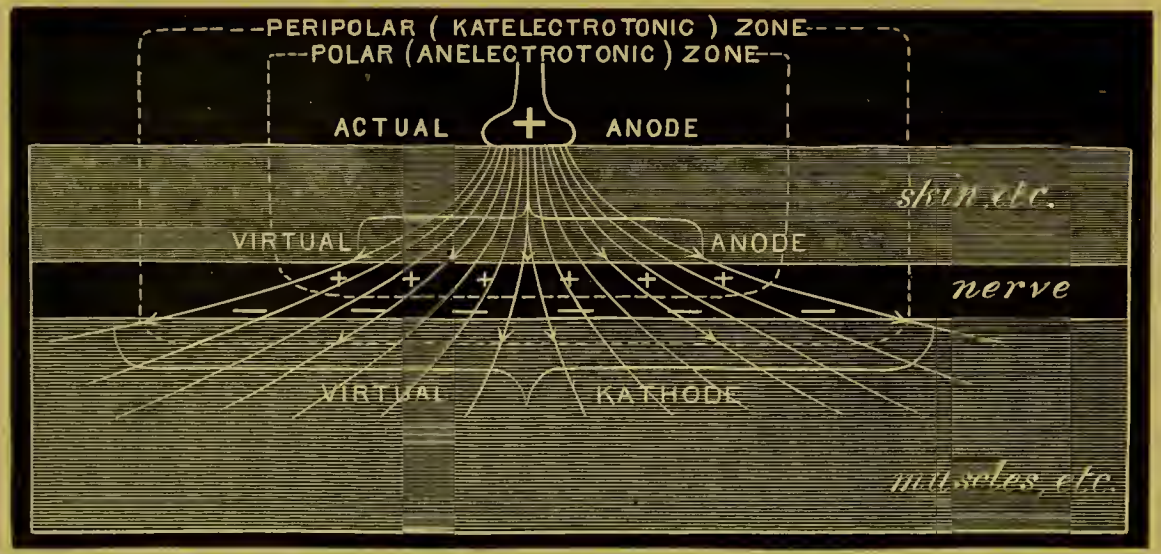
Selon lui, l'état catélectrotonique est succédé par une modification négative ; mais, contrairement à co qui a lieu pour le nerf de la grenouille, cette modification n'est pas suivie par une augmentation de l'excitabilité, ou ne l'est que d'une manière indistincte.

Remak a étudié les modifications consécutives avec plus de méthode. Il a cherché à déterminer plus exactement quel rôle pouvait jouer la diminution dans la résistance des tissus (surtout pour un courant dirigé dans le sens opposé au courant polarisateur), dans la production des effets attribués à une augmentation dans l'excitabilité du nerf. Dans ce but, il se servit pour explorer non pas de chocs d'induction, mais de courants galvaniques dont l'intensité se laissait facilement contrôler par le galvanomètre. Il déterminait dans chaque cas la force du courant nécessaire pour produire une contraction minimale ; et put ainsi s'assurer que l'augmentation de l'effet d'une fermeture cathodique après une polarisation anodique ou cathodique était bien d'origine phsyiologique et non simplement physique. — L'augmentation après la polarisation cathodique s'observe régulièrement, mais non uniformément. Elle est plus accusée après une polarisation plus prolongée ou plus énergique, et diminue graduellement. Il n'a jamais constaté de modification négative. — L'augmentation succédant à la polarisation anodique ne put être étudiée d'une manière satisfaisante, à cause du temps qui, d'après sa méthode, s'écoulait forcément entre la rupture du courant polarisateur et l'application du courant explorateur. — La fermeture anodique lui donna des résultats inconstants : quelquefois augmentations, quelquefois diminution, d'autres fois rien. — La contraction d'ouverture anodique devient plus forte avec la durée du courant polarisateur. — Des autres combinaisons possibles do polarisation et d'exploration polaires, Remak no peut rien affirmer avec certitude.

Nous n'entrerons pas ici dans une critique approfondie des travaux dont nous venons de donner un résumé succinct, et ne discuterons pas les théories avancées par leurs auteurs.

La meilleure réfutation d'hypothèses hasardées est une explication des faits basée sur les résultats d'une expérimentation scientifique; et c'est ce que nous nous proposons de faire plus loin. Comme le problème du mouvement: "Demonstratur ambulando." D'ailleurs les principes sur lesquels nous fonderions nos critiques n'ont pas été établis, et ne ce serons que lorsque nous discuterons les conditions physiques et physiologiques qui gouvernent la recherche de l'électrotonus sur le corps vivant, et les sources d'erreur qui entourent ces expériences. L'énonciation de ces principes pourraient à la rigueur suffire à la critique, en mettant en lumière les points sur lesquels les recherches antécédantes ont péché. Cependant quelques remarques générales sur les méthodes suivies jusqu'ici, et sur les travaux que nous venons d'analyser, ne seront peut être pas hors de place. Et d'abord nous ferons observer que le but que se proposaient leurs auteurs n'était pas de fournir une corps de preuves suffisant en lui-même pour établir la doctrine de l'électrotonus. Leur but était simplement d'obtenir quelques résultats dont on pût inférer l'existence, pour le nerf humain, d'altérations semblables à celles produites par le passage d'un courant galvanique dans le nerf de la grenouille. Plusieurs ne se cachaient pas du désir de trouver une coïncidence aussi complète que possible; la prétention avouée de Cyon était de baser sur la théorie de l'électrotonus tout l'échafaudage d'une électrothérapie scientifique. Dans toutes autres circonstances, il eut été impossible de tirer du chaos de contradictions que présentent trop souvent leurs résultats des conclusions tant soit peu convaincantes. Mais il s'agissait de trouver des cas parallèles: on choisissait donc comme réussies les quelques expériences qui satisfaisaient le programme; les autres — la plupart — on s'en débarrassait tant bien que mal par des explications plus ou moins fantastiques.

Le principe fondamental de Helmholtz mentionné plus haut, et sur lequel nous aurons à revenir présentement, mis en lumière par l'expérience cruciale de Erb (le seul qui en ait senti toute l'importance), éclaircit bien des points



REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DE LA DISTRIBUTION DES COURANTS DÉRIVÉS DANS UN NERF SOUS-CUTANÉ.

L'anode repose sur la peau (skin). La zône polaire anodique est indiquée par les + +; la zône péripolaire kathodique par les — —. L'étendue des électrodes virtuelles est représentée par les signes $\underbrace{\quad\quad}$.

L'autre électrode est censée reposer sur le côté opposé, ou sur un point très éloigné, du corps.

obscurs ; et cependant il a été complètement ignoré dans la suite. De là bien des confusions ; on ferme les yeux sur l'existence avérée d'un électrotonus extrapolaire du signe opposé à celui de l'électrode, et l'on attribue les résultats contradictoires à "l'inconstance du nerf" !

Nous ferons remarquer en second lieu que les procédés employés dans tous les travaux indiqués ci-dessus (sauf les quelques expériences de Cyon) manquent de la précision indispensable dans ce genre de recherches. On se bornait à noter à l'œil les mouvements du muscle, et à enregistrer la force minimale du courant nécessaire à une contraction. Outre les erreurs d'observation directes auxquelles on est assujetté en de pareilles conditions, les résultats sont viciés par les altérations de l'irritabilité nerveuse par le courant excitateur lui-même. Autre objection : pour ce qui concerne les effets postérieurs de l'électrotonus, la méthode par stimulation minimale est inadmissible en ce qu'elle perd un temps précieux ; c'est ainsi, par exemple, que la modification négative qui succède au catélectrotonus a échappé à Remak.

Faisons remarquer enfin que jusques ici le courant induit a seul été employé pour l'exploration de l'état électrotonique du nerf. Dans les conditions complexes où l'on se trouve placé lorsqu'on expérimente sur le corps humain, il y a tout avantage à se servir du courant galvanique, à cause de la facilité qu'il nous offre pour éliminer les erreurs provenant de variations dans la résistance des tissus. Remak, dans ses observations sur les changements d'excitabilité post-électrotoniques, a fort bien mis en évidence ce point important, et a agi en conséquence. De plus, le courant galvanique donne deux ordres de contractions (de fermeture et de rupture) : or nous verrons que la disparition de la contraction d'ouverture sous l'influence d'une influence anodique même faible, nous fournit une des preuves les plus claires et irrécusables de le réalité physiologique des phénomènes observés sur l'homme.

La différence capitale entre les expériences électro-

physiologiques sur le nerf maintenu dans ses rapports normaux avec les tissus qui l'environnent, et celles sur le nerf préparé, provient de la diffusion des courants inévitable dans le premier cas. Lorsqu'un nerf de grenouille est placé dans un circuit électrique, il est parcouru dans toute sa longueur par un courant de densité uniforme ; au point d'application de l'électrode positive se trouve l'anode, à celui de l'électrode négative la cathode du nerf. Au contraire, lorsque nous électrisons un nerf recouvert par la peau et environné de muscles, de vaisseaux sanguins, de tendons, etc. — prenons, par exemple, le nerf cubital du coude au poignet — le courant est à peu près nul dans la partie du nerf située entre les électrodes. Vu le plus grand diamètre et la conductivité spécifique plus élevée des masses musculaires de l'avant-bras, la densité électrique dans le nerf ne sera considérable qu'immédiatement sous chacune des électrodes. Dans le voisinage immédiat de l'électrode positive, de nombreux filets de courant seront dérivés du nerf dans les meilleurs conducteurs qui l'entourent; et ces filets convergeront sur le nerf dans le voisinage immédiat de l'électrode négative ; en d'autres termes, nous aurons à chacun des points d'application des électrodes des filets de courant qui entrent dans le nerf, et des filets qui en sortent. Or par la définition même des termes il y a anode là où le courant entre dans un électrolyte, cathode là où le courant sort d'un électrolyte. Donc le nerf sera soumis en réalité à l'influence de quatre pôles. En plaçant nos deux électrodes sur la peau dans le parcours du nerf, nous créons quatre électrodes *virtuelles* sur le nerf lui-même.

Considérons les choses de plus près. Sous chacune des électrodes réelles la densité électrique dans le nerf atteindra son maximum. Nous aurons donc à chacun de ces points une zône que nous pourrons nommer *polaire*, puisqu'elle sera du même signe que l'électrode réelle. Tout autour, et ayant une étendue variable selon la conductivité relative des tissus, nous aurons une zône *péripolaire* du signe opposé à celui de l'électrode réelle.

Ces zônes auront évidemment la même extension, à la surface du nerf, que les électrodes virtuelles auxquelles elles correspondent.*

Il nous reste à démontrer que ces déductions théoriques des lois de la physique, et des faits connus de la conductivité relative des tissus, sont conformes aux données de l'expérience physiologique.

Nous avons vu comment Erb, après avoir trouvé dans le voisinage de l'électrode polarisatrice l'électrotonus du signe opposé, explora l'excitabilité du nerf sous l'électrode même, et y trouva l'électrotonus du même signe. Dans le premier cas le courant d'épreuve tombait sur la zône péripolaire, dans le second sur la zône polaire. Ces résultats suffiraient, ce nous semble, pour assurer la réalité objective du principe de Helmholtz. Mais l'importance du sujet nous défend de passer sous silence d'autres faits tout aussi convaincants. Lorsque, plaçant l'un des pôles du courant galvanique sur le parcours d'un nerf, on ferme et on ouvre alternativement le circuit, on obtient, dans le groupe des muscles animés par ce nerf des contractions de fermeture et de rupture, quelque soit ce pôle. Mais on peut observer aussi que, dans un cas donné, ces contractions ne sont pas exactement les mêmes à la fermeture et à la rupture : certains muscles réagissent plus énergiquement à l'une de ces stimulations qu'à l'autre. Or nous savons que le nerf est excité par l'apparition du catélectrotonus, et par la disparition du l'anélectrotonus. Ces deux états doivent donc coexister dans le nerf, quoique soumis à l'action d'une seule électrode. Le second fait indique que la distribution des deux électrotonus dans le nerf est telle que certaines fibres de ce nerf sont en anélec-

* Nous avons déjà eu l'occasion de développer cette théorie d'électrodes "virtuelles" dans un travail sur "Les conditions de la stimulation unipolaire en physiologie et en thérapeutique" (Brain, avril 1880). Ajoutons que cette partie-ci de notre travail actuel a été écrite avant l'apparition du livre récent de M. le prof. Erb. Nous sommes heureux de nous trouver dans un accord de pensée aussi complète avec l'auteur distingué de "l'Electrothérapie."

trotonus, tandis que les autres sont en catélectrotonus — en d'autres termes, qu'il règne dans le nerf un état de choses correspondant à ce que les conditions physiques de l'expérience nous a amenés à entrevoir.

Mentionnons enfin les expériences faites sur le nerf mis à nu. Il est reconnu par les physiologistes que si le nerf n'est pas entièrement isolé dans la portion intrapolaire, ou que sa structure y soit altérée, les phénomènes électrotoniques suivent une marche irrégulière. C'est que là où le nerf est en contact avec d'autres tissus, là où il n'est pas homogène, là sont créées des électrodes virtuelles par la diffusion anormale du courant. C'est ainsi que s'explique le trouble amené dans les réactions d'un tel nerf.

Dans les expériences que nous avons rapportées plus haut, les électrodes étaient disposées de diverses manières. La plupart des observateurs se servaient de la méthode physiologique ordinaire pour l'exploration de l'électrotonus extrapolaire descendant; c'est à dire, appliquaient le long du nerf les deux électrodes polarisatrices, et au dessous les deux électrodes du courant d'épreuve. En cela ils obéissaient au préjugé qui subsiste encore en certains quartiers, que les effets électrotoniques dépendent de l'influence de la direction du courant dans le nerf, et non de l'influence des pôles eux-mêmes. Nous n'avons pas à combattre ici une erreur aussi contraire aux enseignements de la physiologie moderne ; mais nous insisterons sur le fait mis en évidence plus haut, que dans l'étendue intrapolaire du nerf, environné de muscles et de vaisseaux, celui-ci n'est sillonné que par un courant dérivé tres faible, presque nul dans certains cas, vu son diamètre et sa conductivité tellement moindres que ceux de la masse de tissus qui l'entourent. A ce point de vue, la méthode quadripolaire dans l'expérimentation sur le corps humain est d'une complication inutile. Mais il y a plus : elle y introduit une source d'erreur inévitable. En effet, nous avons vu qu'à chaque électrode réelle correspondent deux électrodes virtuelles. A chaque coup de fermeture et d'ouverture du courant d'épreuve, le nerf

sera donc excité en deux points différents, dont l'un très probablement se trouvera dans la zône péripolaire de l'électrode polarisatrice, l'autre en dehors de tout effet électrotonique.*

Il est donc inutile de placer les deux électrodes polarisatrices le long du nerf ; et il est nuisible d'y placer les deux électrodes exploratrices. En d'autres termes, nous devons employer la méthode unipolaire (introduite par Chauveau et Baierlacher pour l'étude de la loi des contractions), et soustraire le nerf à l'action d'une des électrodes de chacun des courants en la fixant sur un point éloigné du corps.

La question se présente alors : quelle disposition donnera-t-on aux deux électrodes sur le nerf ? Les données de la physique, et l'expérience fondamentale d'Erb, nous donnent la réponse. D'un côté, nous savons que l'état polaire du nerf est double dans le voisinage immédiat de l'électrode polarisatrice, et occupe deux zônes dont la distribution dépend de deux facteurs : la surface en contact avec l'électrode, et la conductivité relative des tissus. De l'autre côté, nous savons que l'excitation part, vers l'électrode exploratrice, de deux zônes dont la distribution dépend des mêmes facteurs. Or afin d'éprouver l'altération de l'excitabilité d'un nerf soumis à une influence polaire, il est indispensable que l'excitation soit strictement limitée aux points où s'exerce cette influence. Donc nous devrons rendre l'électrode polarisatrice et l'électrode excitatrice coextensives ; en d'autres termes, faire passer les deux courants par la même électrode.

Erb avait imaginé de perforer l'électrode polarisatrice dans son centre, et d'introduire par cette ouverture une petite électrode exploratrice. Il est sans doute parvenu

* De semblables expériences sont exposées à une autre source d'erreur qui ne paraît pas avoir été éliminée dans bien des cas, et qui consiste en ce que les circuits du courant polarisateur et du circuit du courant excitation deviennent l'un pour l'autre des circuits de courants dérivés. L'intensité de ces derniers peut devenir telle que des zônes secondaires de polarisation et d'excitation s'établissent dans le nerf et troublent les résultats.

à démontrer ainsi l'existence de l'électrotonus dans la région polaire. Mais cette méthode est compliquée et ne remplit pas toutes les conditions que nous imposent le but de nos expériences. Les deux électrodes doivent, disons-nous, être coextensives, fondues en une seule. La manière la plus simple d'arriver à ce but, nous paraît-il, est d'adopter l'arrangement mentionné plus haut et suivi par Eckhardt et Pflüger, Brückner et Runge, et qui consiste à joindre les deux courants dans le même circuit et les appliquer par les mêmes électrodes.*

Voici la disposition que nous avons adoptée dans nos expériences sur l'électrotonus des nerfs chez l'homme.

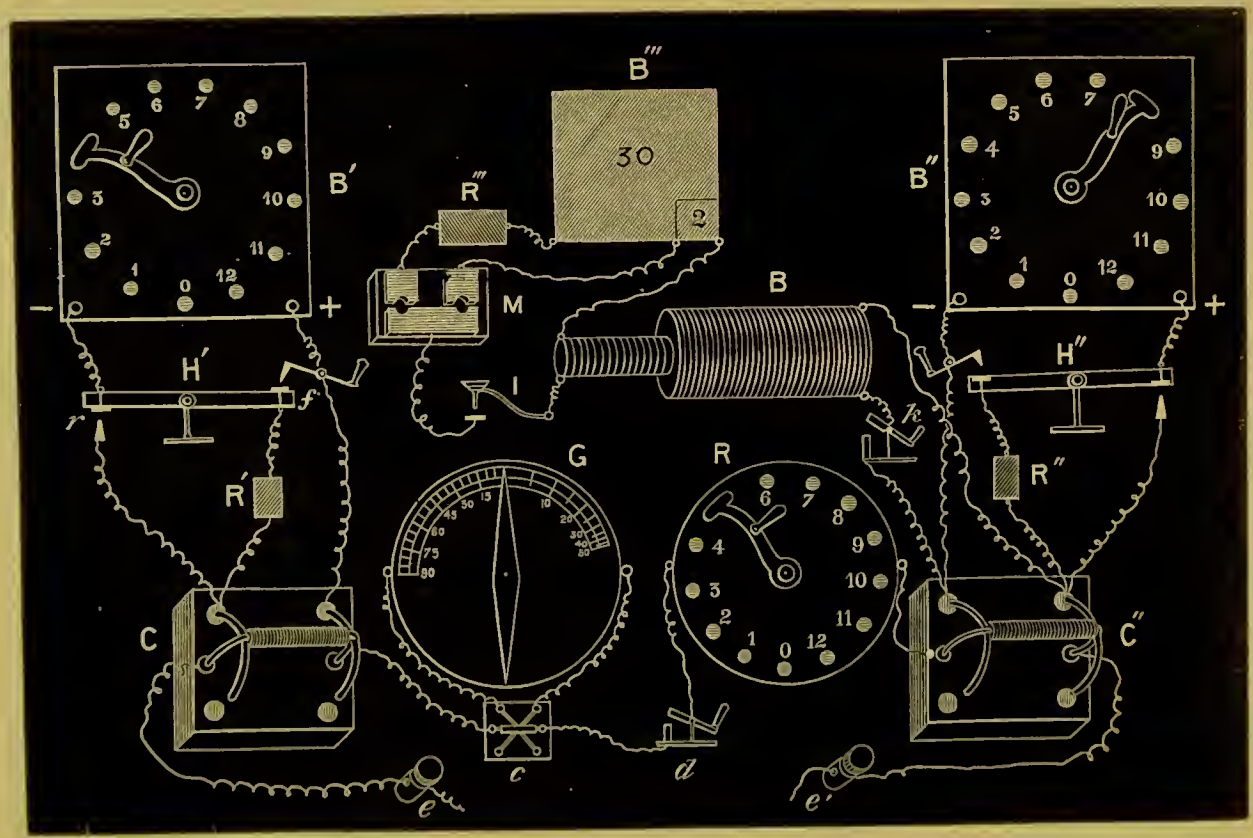
Une batterie (B′) de 80 éléments Leclanché, munie d'un collecteur à cadran, fournit le courant polarisateur. L'un de ses pôles (+) est relié directement à un commutateur (C′) ; l'autre pôle l'est par l'intermédiaire du courant de rupture d'une clef d'Helmholtz (H). Les deux pièces du contact de fermeture de cette clef sont reliés chacun au même commutateur par des fils dont l'un passe par un rhéostat (R′).

La batterie (B″) excitatrice est reliée de même à un commutateur (C″), avec intercalation d'une clef (H″) et d'un rhéostat (R″).

Entre les deux commutateurs se trouvent un galvanomètre (G′), une interrupteur à ressort (i), et un rhéostat (R), muni de son commutateur (c).

Lorsque les deux clefs de Helmholtz sont au repos, le circuit sera composé de la manière suivante : Partant de B′+, nous arrivons au commutateur C′, puis par G, c, R, C″

* Il ne semble pas qu'aucun de nos devanciers ait reconnu le fait que le courant d'épreuve, aussi bien que le courant de polarisation, provoque la formation de deux zônes dans le nerf. Sans doute, beaucoup de leurs erreurs ont dû avoir pour cause ce fait — entre autres, celle capitale de Runge. — Il est évident que dans l'exploration de l'électrotonus péripolaire la polarité de l'électrode exploratrice n'est point une particularité insignifiante, mais peut déterminer des résultats absolument opposés. Nous aurons à revenir sur ce point.



DISPOSITION DE NOS APPAREILS.

et la clef H″ à la batterie B″ – ; de la batterie B″ + au commutateur C″ et à l'électrode E. Puis vient le corps, la seconde électrode E, et retour par le commutateur C′ et la clef H′ à B′ – .

Un instant de réflexion suffira pour montrer que si l'une ou l'autre des clefs est mise en action, la batterie correspondante se trouvera mise hors de circuit par la rupture du contact (r), tandis le courant de l'autre continuera à passer par (f). — Ainsi nous pourrons (1) éliminer du circuit le courant polarisateur, et n'agir qu'avec le courant excitateur ; (2) maintenir le courant polarisateur d'une manière continue, et tour à tour jeter dans le circuit le courant excitateur et l'en soustraire. Ces conditions sont nécessaires à remplir pour pouvoir éprouver l'excitabilité du nerf avant, pendant, après la polarisation.

Les commutateurs C′ et C″ servent à renverser chacun des courants dans les électrodes. Le rhéostat R sert à intercaler de grandes résistances dans le circuit lorsqu'il s'agit d'éliminer l'effet de la polarisation des tissus. Les rhéostats R′ et R″ ne sont nécessaires que lorsqu'on se sert de batteries de grande résistance intérieure. Lorsqu'une des batteries est mise hors du circuit par l'action de la clef, la résistance totale sera diminuée par la soustraction de la résistance intérieure de cette batterie. Le courant serait donc augmenté si la résistance de la batterie éliminée ne trouvait pas compensée dans le rhéostat par l'introduction duquel cette source d'erreur est éliminée.

Les chocs de fermeture et de rupture du courant explorateur sont généralement obtenus par l'action de la clef H″ ; cependant il est quelquefois nécessaire, ou tout au moins avantageux, d'avoir un interrupteur à ressort (d) à sa disposition.

L'arrangement des appareils pour l'excitation au moyen de chocs d'induction reste le même que celui que nous venons de décrire, sauf qu'une bobine secondaire (B) y remplace la batterie B″.

La machine à induction dont nous nous servons est celle

à chariot (Du Bois Reymond). Le courant inducteur est fourni par une batterie de deux éléments pour les simples chocs de rupture ; par une batterie de 30 éléments (B‴) lorsque les chocs de fermeture doivent être égaux à ceux d'ouverture. Une manette (M) sert à prendre l'un ou l'autre courant à volonté. Un rhéostat (R‴) est intercalé dans le circuit des 30 éléments, selon les principes de Henry. L'interrupteur du courant inducteur (I) est tantôt un simple interrupteur à ressort, tantôt un interrupteur électro-magnétique, tantôt un interrupteur à contact capillaire.

Une clef (X) permet de laisser la bobine attachée en permanence au commutateur C″ : il suffit de l'ouvrir pour empêcher que le courant de B″ soit dérivé dans la bobine, lorsqu'on se sert de ce courant pour exciter.

Les électrodes consistent de plaques de métal recouvertes de peau. L'une a une surface considérable (200 cm. carrés, ou plus) ; on la fixe sur une partie du corps éloignée du nerf à examiner (électrode "indifférente" de Brenner). L'autre, l'électrode exploratrice, a 5 ou 6 cm. carrés ; on la fixe solidement au moyen d'une courroie sur un point du corps où se trouve un nerf superficiel (tel que le cubital vers le coude, le péronier vers le tendon du biceps et la tête du péroné).

La contraction des muscles est enregistrée d'après la méthode de Marey. Nous préférons aux instruments récepteurs construits sur le principe du cardiographe, employer un simple ballon en caoutchouc de forme et de grandeur appropriées, et que l'on fixe au moyen d'une large courroie sur les muscles excités. Le ballon communique avec le tambour et le levier inscripteur bien connus et figurés dans le plupart des manuels de physiologie.

Comme dans l'investigation myographique de l'électrotonus il s'agit simplement d'estimer les altérations dans l'excitabilité du nerf par l'amplitude et non par le cours de la contraction musculaire (c'est à dire par la hauteur du jet du levier et non par la forme des courbes), il y a tout avantage à employer un cylindre à rotation lente. Celui

que nous employons généralement fait un tour par quart d'heure, ce qui donne une progression de 2 mm. par seconde. Dans de telles conditions, il est évident qu'un mouvement d'horloge ordinaire (c'est à dire à échappement) suffit, et qu'il n'est pas nécessaire d'employer les appareils compliqués et dispendieux à mouvement continu lent, ou à électro-aimants. On peut aussi se servir de la méthode de Fick, et imprimer avec la main à un cylindre immobile (en faisant tourner l'arbre du régulateur de Foucault, par exemple) de petits déplacements réguliers. Mais c'est là un procédé fatigant et ennuyeux.

Waller a eu l'heureuse idée d'utiliser comme moteur une de ces petites pendules dites Américaines, qui marchent dans toutes les positions et ont un ressort assez puissant pour faire tourner un cylindre. Une roue dentée est fixée à l'axe qui porte l'aiguille des minutes. Dans cette roue sont engrenées deux autres roues, portant l'une la moitié, l'autre le quart du nombre des dents de la première. Le cylindre, selon l'axe des trois roues sur lequel il sera fixé, tournera donc une, deux ou quatre fois par heure. Ce petit appareil — vrai modèle de simplicité et de durabilité — est appelé à rendre de grands services en physiologie.

Il est utile, afin d'éviter les irrégularités dans le niveau de l'abscisse sur laquelle se basent les ordonnées qui représentent par leur hauteur le degré d'excitabilité du nerf, de se ménager le moyen de faire communiquer l'intérieur du tambour inscripteur avec l'air extérieur. Dans ce but, nous nous servons d'un petit robinet fixé sur la troisième branche d'une pièce en T intercalée dans le tube de caoutchouc qui va du ballon au tambour. Le diamètre de l'ouverture de communication peut être aussi réglée avec précision ; elle devra être augmentée avec l'amplitude des contractions à enregistrer.

La partie du corps qui se prête le mieux aux expériences sur l'électrotonus est la jambe, qui contient un nerf superficiel, le péronier, et un groupe de muscles (extenseurs et péroniers) auxquels le ballon récepteur s'adapte avec facilité.

De plus, au moyen d'un artifice très simple on obtient une immobilité très suffisante du membre : il suffit pour cela d'enfermer le pied dans une chaussure attachée au plancher au moyen de vis ou de courroies.

Nous n'eussions jamais obtenu de résultats satisfaisants si, comme les observateurs précédents (sauf Erb), nous avions expérimenté sur d'autres personnes que sur nous-mêmes. En effet, la répétition continuelle d'expériences toujours longues, souvent fort douloureuses et qui réclament de la part du sujet une passivité absolue, eût alors été à peu près impossible — et cependant cette répétition était indispensable, vu les erreurs si nombreuses auxquelles nous étions exposés dans les conditions complexes et nouvelles de notre expérimentation.

Ces erreurs pouvaient provenir de trois sources : physique, chimique, physiologique ; siégeant dans les appareils, dans le corps considéré comme électrolyte, dans le nerf comme tissu irritable.

Nous ne parlerons pas ici des piles que nous avons employées (Leclanchés à plaques agglomérées) et dont nous avions éprouvé la constance par des expériences spéciales — expériences dont les résultats concordaient avec celui de nombre d'autres observateurs. Le contrôle galvanométrique auquel était soumis toutes nos expériences nous assurait du fonctionnement régulier de nos batteries.

Il n'est pas indifférent de donner les chocs de fermeture et de rupture du courant galvanique au moyen d'un interrupteur intercalé dans le circuit, ou au moyen d'un circuit dérivé. Or la double clef de Helmholtz agit en tous points comme un circuit dérivé que l'on ferme et que l'on ouvre. Donc dans nos expériences nous avons eu soin, pour chaque série, de nous en tenir exclusivement soit à la clef de Helmholtz, soit à l'interrupteur à ressort, afin d'obtenir des stimulations comparables.

Les appareils automatiques à interruptions rares pour le courant induit laissent beaucoup à désirer quant à l'égalité dans la force des chocs. Nous avons trouvé que le moyen

le plus sûr d'arriver au but était de faire les interruptions avec la main au moyen d'un contact à ressort. Un certain exercice est nécessaire pour arriver à la perfection ; mais une main ainsi exercée arrive à des résultats aussi satisfaisants que ceux donnés par l'emploi du "contact capillaire" et autres instruments dont l'usage est, de plus, fort compliqué.

Il est toutefois à observer que lorsqu'on se sert de la bobine avec batterie et résistance (méthode de Henry), le courant de fermeture est plus actif si le contact est fait lentement, tandis que le courant de rupture doit toujours être fait brusquement. La cause de ce phénomène est sans doute à rechercher dans le fait que l'extra-courant de fermeture retarde le développement du courant induit correspondant. Lorsque que le contact est fait brusquement, cet extra-courant obtient instantanément son maximum de force, et neutralise ainsi la force électromotrice de la batterie à laquelle il s'oppose.

L'introduction du rhéostat dans le circuit d'un courant galvanique a une influence sur les effets physiologiques du choc de fermeture que n'explique pas la diminution de force qu'éprouve ce courant. En effet, deux courants de force, exactement égale lorsqu'ils traversent le corps, et dont l'un est fourni par un plus grand nombre d'éléments que l'autre, mais est gradué par le rhéostat — ces deux courants, disons-nous, diffèrent en ceci, qu'à la fermeture le nerf réagira moins à celui qui passe par le rhéostat qu'à l'autre. Cette différence s'explique par l'extra-courant généré dans les bobines dont se compose le rhéostat, d'après les principes connus de l'induction.

Le rhéostat exerce une influence singulière, et qui n'a été jamais encore été mentionnée, sur l'action polaire des courants induits. Si l'on excite un nerf par des chocs induits de rupture et que l'on intercale graduellement 1000, 2000, 3000, etc., unités de résistance dans le circuit, l'effet du courant diminuera avec chaque augmentation dans la résistance. Mais cette diminution sera beaucoup plus rapide si c'est le pôle positif qui est sur le nerf que si c'est le négatif. Ce phénomène est indépendant de la

nature du rhéostat, et s'observe aussi bien en employant un tube plein d'eau que des bobines de fil métallique.

Il est un fait notoire que l'effet physiologique des deux pôles du courant induit sont loin d'offrir la même différence d'activité que les deux pôles du courant galvanique. Avec ce dernier le choc de fermeture cathodique (K.C.C.) l'emporte de beaucoup ; et, comme nous aurons l'occasion de le voir, cette supériorité est due au seul fait que ce choc frappe la zône polaire où la densité électrique est plus considérable que dans la zône péripolaire où tombe l'excitation anodique de fermeture.

Si donc il était vrai que les courants d'induction, se rapprochant en cela des décharges électriques disruptives, ne suivaient pas absolument les mêmes lois de diffusion que les courants de tension moindre, nous pourrions supposer que dans leur cas les deux zônes, polaire et péripolaire, n'offrent pas la même inégalité d'étendue. La densité électrique étant peu différente dans les deux, les effets de l'anode et de la cathode seraient peu différents aussi. Or l'intercalation d'une résistance dans le circuit, agissant comme cause de retard dans le flux électrique d'induction, réduirait ce flux aux conditions qui gouvernent le courant de la pile. De là différence notable entre l'activité physiologique des deux pôles. Quoiqu'il en soit de cette théorie, il est un fait certain que, dans l'épreuve électrotonique du nerf humain par les chocs d'induction, les résultats sont plus marqués lorsqu'on intercale une résistance dans le circuit, — comme nous le faisons habituellement pour éliminer les effets perturbateurs des altérations dans la résistance. Il est évident que ce fait s'explique fort bien en admettant que de la sorte nous égalisons les densités électriques dans les deux zônes, et assurons au courant polarisateur et au courant excitateur une coïncidence de diffusion plus parfaite.

Avant de quitter ce sujet, nous ferons remarquer qu'il y a quelque analogie entre le courant induit de fermeture, obtenues par la méthode de Henry, et le courant d'ouverture ordinaire avec résistance intercalée, au point de vue

de leur supériorité pour l'épreuve électrotonique. Il est possible que le courant de fermeture, généré dans des conditions physiques différentes de celles du courant de rupture, ait en vertu de ce fait une diffusion plus analogue à celle du courant continu. Nous avons observé en outre que l'effet des deux pôles du courant de fermeture s'affaiblit, sous l'influence de résistances croissantes, plus rapidement que celui des pôles correspondants du courant d'ouverture.

Ces phénomènes, intéressants au point de vue de la physique, ne sont pas sans importance pratique pour nous. Nous avons à en tenir compte dans la comparaison de résultats obtenus sous des conditions diverses. De plus, leur nouveauté nous engageait à les mentionner ici avec quelque détail.

L'influence qu'exercent sur les résultats d'expériences comme les nôtres la polarisation des électrodes et des tissus, et l'altération dans leur résistance — phénomènes qui accompagnent toujours le passage de courants électriques — cette influence, disons-nous, est telle que ces sources d'erreurs doivent être soigneusement éliminées ou neutralisées par des précautions suffisantes. L'observation la plus élémentaire démontre qu'au moment de l'application des électrodes, un courant galvanique, fourni par un nombre donné d'élément, produit sur l'aiguille du galvanomètre une déviation qui va croissant jusqu'à ce qu'elle atteigne un maximum. Si, lorsque l'aiguille est stationnaire, nous renversons le courant, nous observons que la déviation est augmentée; un nouveau maximum est de suite atteint, mais l'aiguille ne s'y tient pas, elle ne tarde pas à redescendre vers le premier maximum. Le même phénomène se répétera si nous renversons de nouveau le courant.

Nous n'entrerons pas ici dans les détails concernant ces faits, dont la nature et les lois sont encore obscures. Nous nous bornerons à les constater, et à indiquer les mesures à prendre pour nous mettre à l'abri des erreurs qu'ils pour-

raient entraîner. La polarisation des électrodes peut être prévenue par les moyens usuels. Mais l'emploi dans nos expériences d'électrodes impolarisables offre de telles difficultés et de tels inconvénients que nous y avons renoncé en faveur d'autres moyens. Du reste, cette polarisation ne joue qu'un rôle secondaire dans les altérations très considérables qu'accusent les oscillations de l'aiguille aimantée. Ces altérations ont leur siége principal dans le corps lui-même. La diminution initiale de la résistance qu'indique l'augmentation de l'angle de déflection dépend, nous le savons, de l'imbibition de liquides par la peau. L'augmentation, souvent très considérable, de la force du courant à chaque renversement de sa direction, dénote une polarisation intérieure des tissus. Ces altérations, dont nous ne pouvons empêcher le développement, ont deux ordres d'effets que nous considérerons séparément.

En premier lieu, tant les changements de la résistance, que la création de forces électromotrices dans les électrolytes qui forment le circuit, augmentent ou diminuent la force du courant de la pile. Celui-ci croîtra avec la diminution de la résistance ; diminuera avec le développement de la polarisation ; à chaque renversement il augmentera par l'addition des effets de cette même polarisation.

Réduisons ces données à la formule de la loi d'Ohm : $C = \frac{E}{R}$. Notre but est de maintenir C constant au milieu de variations dans E et R. Or E représente une constante e′, c'est à dire la force électromotrice de la batterie, et une variable e″ la force électromotrice de polarisation. De même, R représente une constante, c'est à dire la résistance r′ minimum (intérieure et extérieure) du circuit, et la résistance r″, qui variera suivant une foule de circonstances.

Il est évident que, si nous faisons e′ et r′ suffisamment considérables relativement à e″ et r″, nous éliminerons l'effet de ces deux variables. Un exemple concret éclaircira ce point mieux que des formules abstraites. La résistance du corps humain au commencement d'une expérience est mesurée et s'élève à 2500 ohms environ — à la fin de l'expérience, elle est descendue à 1500 ohms environ : le

courant aura donc augmenté dans la proportion de 3 à 5. Supposons que la force électromotrice de la batterie soit de 20 volts, nous avons : $\frac{20}{2500} : \frac{20}{1500} = \frac{1}{125} : \frac{1}{75}$. Si, au lieu d'employer 20 volts, nous en employons 200, et intercalions 22,500 ohms de résistance dans le circuit, nous trouverons que l'augmentation du courant sera $\frac{200}{25000} : \frac{200}{24000} = \frac{1}{125} : \frac{1}{120}$. En d'autres termes, la variation dans la force du courant sera diminuée de 3 : 5 à 24 : 25.

De même, si la polarisation produite dans le circuit par un courant de 20 volts par 2000 ohms génère une force électromotrice égale à un quart de celle de la batterie, le courant variera dans la proportion de 4 à 5 à chaque renversement : $\frac{20}{2000} : \frac{20+5}{2000} = \frac{1}{100} : \frac{1}{80}$. Décuplons la force électromotrice et la résistance dans le circuit : $\frac{200}{20000} : \frac{200+5}{20000} = \frac{1}{100} : \frac{1}{98}$ environ.

Il est évident par ces exemples que la constance du courant peut être maintenue très suffisamment dans les expériences sur le corps humain, en introduisant une force électromotrice et une résistance supplémentaires dans le circuit.*

La polarisation du corps et des électrodes peut agir d'une seconde manière, et influencer les résultats de l'épreuve de l'excitabilité nerveuse par chocs induits après la rupture du courant polarisateur. Pour bien comprendre ce dont il s'agit, jetons un coup d'œil sur la figure qui représente la disposition de nos appareils. Lorsqu'après

* Nous avons proposé cette méthode en premier lieu dans un article sur "La nature de la tension électrique," publié dans le *Medical Times* du 28 septembre 1877 ; et dans notre "Introduction to Medical Electricity" (1878), où nous la nommons méthode "par élimination," pour la distinguer de la méthode "par correction" généralement employée jusqu'ici. Nous l'avons employée dans des recherches faites avec Tschiriew sur l'excitabilité de la peau et dont les résultats ont été publiés dans "Brain," juillet 1879. — La méthode "par correction" consiste à faire varier la force électromotrice avec chaque variation dans la résistance des tissus. Outre le temps et l'attention qu'elle réclame, cette méthode ne saurait donner des résultats aussi satisfaisants que celle qui d'emblée élimine toute influence sensible des altérations dans le circuit.

avoir galvanisé le nerf nous excluons du circuit la batterie B′, les électrodes et le corps lui-même se trouvent inclus dans un circuit composé de la bobine secondaire, des commutateurs, des clefs, et des rhéophores qui relient ces différentes pièces. La force électromotrice de polarisation pourra ainsi fournir un courant qui aura une direction opposée au courant antérieur de la pile, et dont par conséquent l'influence électrotonique tendra à neutraliser l'effet consécutif de ce courant.

Afin d'éliminer cette influence, nous procéderons comme auparavant — c'est à dire, nous intercalerons une forte résistance supplémentaire dans le circuit. Cette résistance, en diminuant la force du courant de polarisation, diminuera aussi l'altération de l'excitabilité nerveuse qu'il pourrait produire. Puis nous contrôlerons les résultats ainsi obtenus avec ceux que nous donneront l'épreuve par chocs galvaniques — épreuve dont les conditions, il est évident, excluent la possibilité même d'un courant de polarisation.

Nous arrivons enfin à la troisième source des erreurs qui peuvent falsifier nos résultats. Toute polarisation ou stimulation électrique d'un nerf en altère l'excitabilité pour un temps plus ou moins long et à un degré plus ou moins élevé. — D'où résulte (1°) que, dans toute épreuve faite au moyen d'une série de stimulations, les résultats pourront être amplifiés ou diminués par l'agent excitateur ; (2°) que, dans toute expérience succédant à une autre expérience, la comparaison entre la réaction du nerf avant et après la polarisation pourra être viciée par le fait que la première de ces réactions ne sera pas la réaction normale du nerf.

Les précautions à prendre dans ces deux cas se présentent naturellement à l'esprit : (1°) Nous étudierons les phénomènes que présentent les réactions du nerf à des séries d'excitations électriques, selon que la force de ces excitations, leur nombre dans l'unité de temps, la nature et la durée du courant, varieront. Nous chercherons à réduire ces phénomènes à des lois, dont nous aurons à

tenir compte dans nos méthodes d'excitation ou dans l'interprétation du résultat final de chaque expérience. — (2°) Nous ne tiendrons aucun résultat comme valable qui n'ait été obtenu sur un nerf parfaitement normal ; et autant que possible éprouverons l'excitabilité du nerf avec des courants d'une force que nous modifierons dans le sens opposé au résultat anticipé — c'est à dire, d'une force inférieure à la normale lorsqu'il s'agita de démontrer une augmentation, supérieure lorsqu'il s'agira de démontrer une diminution.

Voici les résultats auxquels nous sommes arrivés quant aux effets de séries de chocs d'induction :—

1. Avec des excitations fortes, la hauteur des contractions tend de plus en plus graduellement vers un maximum.

2. L'augmentation initiale est plus rapide plus les excitations sont fortes.

3. Avec des excitations modérées, et le rhythme que nous employons généralement dans nos expériences (une excitation toutes les deux secondes), la hauteur des contractions tend à suivre une ligne horizontale.

4. Avec des excitations très faibles, la série des contractions présente une légère décroissance.

5. L'augmentation observée plus haut n'est pas due à une diminution dans la résistance, vu que la première contraction de chaque groupe est plus faible que la dernière du groupe précédent.

Les conditions sont plus complexes lorsqu'on emploie le courant galvanique. Nous ne prétendons pas ici expliquer ces phénoménes, qui doivent être considérer comme des effets consécutifs—sujet que nous traiterons plus loin.

A.—Voici ce que nous pouvons formuler quant aux effets de séries de chocs de fermeture :

Pour chaque force de courant il existe un rhythme avec lequel on obtient des contractions dont la hauteur suit

une ligne horizontale. Ce rhythme dépend de deux facteurs : Nombre de stimulations dans l'unité de temps ; durée relative des périodes d'ouverture et de fermeture du courant.

Une série horizontale de contractions peut être convertie en série ascendante ou descendante en faisant varier le rhythme : il y aura série ascendante si l'on diminue la durée de la fermeture ; descendante si on l'augmente.

Nous ne considérerons pas les effets fort compliqués de variations dans la fréquence des excitations, vu que pour nos expériences il nous suffit d'adopter une constante, c'est à dire une fréquence de 30 à la minute, comme pour le courant induit.

Une série horizontale deviendra ascendante ou descendante si en maintenant le rhythme on se sert d'un courant plus fort ou plus faible.

B.—Les séries de contractions de rupture sont d'abord ascendantes, puis descendantes ; les contractions finissent par disparaître tout à fait.

Ce dernier fait est, à plus d'un point de vue, d'un intérêt considérable. Nous ne pouvous l'expliquer, nos expériences dans ce but ne nous ayant pas encore donné de résultats définitifs. Est-il dû à une invasion catélectrotonique graduelle de la zône anodique ? Ou bien, à la modification positive croissante par accumulation après chaque période de fermeture anodique ? Ou bien encore, à une cause encore ignorée, telle que l'épuisement du nerf par les chocs répétés dans la zône anélectrotonique ? C'est ce que des expériences ultérieures nous apprendra peut-être.

Résumons, en les applicant à l'épreuve de l'électrotonus du nerf humain par les chocs de fermeture et d'ouverture du courant galvanique, la description de nos méthodes, et la discussion des conditions à observer dans nos expériences.

Après avoir disposé nos appareils de façon à pouvoir lancer à volonté dans le circuit du courant polarisateur, et

à en soustraire, un courant galvanique — opération qui se fait aisément au moyen de la clef double de Helmholtz — nous appliquons sur le nerf l'électrode exploratrice, et sur les muscles qu'il anime le ballon récepteur du myographe. A cet effet nous choisissons de préférence le nerf péronier et les muscles anterieurs de la jambe. L'autre électrode ("indifférente") est appliquée sur un point éloigné du corps. Nous mesurons, lorsque l'épiderme a été convenablement saturé par le contact des électrodes humides, la résistance de la partie du corps contenue dans le circuit, et introduisons une résistance additionnelle dix ou douze fois plus grande que celle du corps. Ainsi nous diminuons d'autant l'influence de changements ultérieurs dans la résistance des tissus; et en même temps celle de leur polarisation, en vertu de l'excès de force électromotrice mise en jeu dans la batterie. De plus, nous contrôlons à chaque instant la force des courants par la déflection galvanométrique.

Choisissant une force de courant explorateur et un rhythme d'excitation tels que nous obtenions des séries de contractions normales de hauteur uniforme, nous enregistrons sur le cylindre un nombre suffisant de pareilles contractions dont l'amplitude correspond à l'excitabilité du nerf. Alors nous soumettons le nerf à l'influence d'un courant polarisateur, et observons l'effet des mêmes excitations que précédemment. La différence dans l'amplitude des contractions notées sur le cylindre nous permet de conclure à une altération de l'excitabilité du nerf.

Le courant polarisateur et le courant excitateur galvaniques doivent nécessairement circuler toujours dans la même direction. Nous aurons donc à examiner l'effet de la polarisation (1°) lorsque l'électrode exploratrice renferme la cathode des deux courants; (2°) lorsque cette électrode renferme leurs anodes. Et dans chacun des deux cas, à noter : (1°) l'effet de l'excitation de fermeture; (2°) celui de l'excitation de rupture: donc quatre phases que nous dénoterons par les abbréviations suivantes:

1. K et KC :	polarisation	kathodique,	excitation	kathodique	de clôture.
2. K et KO :	,,	,,	,,	,,	d'ouverture.
3. A et AC :	,,	anodique	,,	anodique	de clôture.
4. A et AO :	,,	,,	,,	,,	d'ouverture.

Nos résultats peuvent se résumer en quelques mots : les contractions de fermeture sont augmentées dans les deux cas (K et KC; A et AC) ; les contractions d'ouverture sont diminuées dans les deux cas (K et KO ; A et AO).

Afin de donner à ces faits l'interprétation qu'ils comportent, nous devons retracer brièvement les principes que nous avons établis plus haut sur l'état polaire du nerf lorsqu'il est soumis à l'influence d'une électrode appliquée à la surface du corps. Il règne dans la partie du nerf immédiatement sous-jacente à l'électrode réelle une électrode virtuelle (polaire) du même signe électrique ; tandis que tout autour, vu la diffusion rapide du courant, il y règne une électrode virtuelle (péripolaire) du signe opposé.

Donc lorsque nous polarisons le nerf, en appliquant sur la peau l'électrode négative, nous créons dans le nerf une zône polaire cathodique et une zône péripolaire anodique.

De même, lorsque nous excitons le nerf, en appliquant sur la peau l'électrode négative, le coup de fermeture tombe dans la zône polaire cathodique, celui d'ouverture dans la zône péripolaire anodique.

Or nous trouvons que la contraction de fermeture est augmentée, et la contraction d'ouverture diminuée, lorsque l'électrode réelle est à la fois la cathode du courant polarisateur et du courant excitateur. Donc l'excitabilité est augmentée dans la région (polaire) cathodique, diminuée dans la région (péripolaire) anodique.

Des faits absolument analogues s'observent lorsque l'électrode réelle est à la fois l'anode des deux courants. Ici l'excitabilité est diminuée dans la région (polaire) anodique, augmentée dans la région (péripolaire) cathodique.

D'où nous concluons à une coïncidence complète entre

les résultats obtenus par l'excitation galvanique sur le nerf de l'homme vivant, et ceux obtenus sur le nerf isolé de la grenouille d'après la méthode physiologique ordinaire. Les résultats que nous venons de décrire s'obtiennent avec la plus grande uniformité.

Tout le monde sait combien les résultats d'expériences sur le nerf de la grenouille sont facilement troublés par une foule de circonstances difficiles à éviter, ou même à expliquer. Sur le nerf humain sain nous n'avons jamais rencontré d'exception à la règle. Un autre point qui mérite d'être relevé c'est la largeur des limites entre lesquelles on peut faire varier la force du courant polarisateur et du courant excitateur avant d'avoir parcouru tous les degrés possibles de la modification et de la réaction nerveuses. Chez la grenouille le point de l'excitabilité minimale et celui de l'excitabilité maximale sont très rapprochés, de sorte que sous ce point de vue aussi il est inférieur au nerf humain pour la démonstration des changements d'excitabilité produits par le passage d'une courant galvanique.

Dans ce qui précède, nous n'avons fait allusion qu'aux expériences faites par la méthode des variations dans les réactions à un courant de force constante. Nous avons aussi employé celle des contractions minimales qui nous ont livré des résultats identiques : augmentation de l'excitabilité dans la zône cathodique, diminution dans la zône anodique. Cette dernière méthode, plus fastidieuse que l'autre, et moins propre à livrer des graphiques convaincants, expose les résultats à la source d'erreur mentionnée plus haut, nous voulons dire à l'influence sur l'excitabilité des excitations successives auxquelles le nerf est soumis dans la recherche par tâtonnement du point d'excitation minimale. Toutefois elle a l'avantage de mettre bien en évidence la croissance et la décroissance graduelles de l'excitabilité par l'augmentation d'intensité du courant polarisateur. Ainsi, pour donner un exemple, nous trouvons qu'un nerf qui dans son état normal ne réagit qu'à un courant de 10 éléments, est amené, par la polarisation d'un courant graduellement augmenté

de 2 à 40 éléments, à réagir au courant excessivement faible de 2 et même d'un seul élément.

Nous devons enfin insister sur un fait qui se retrouve dans toutes les expériences électroteniques faites sur le corps vivant. C'est que les effets sont toujours plus marqués dans la zône polaire que dans la zône péripolaire : cela s'explique aisément par la grande différence de densité électrique qui règne dans ces deux zônes. Un exemple frappant de ce fait est la facilité extrême avec laquelle la contraction d'ouverture est abolie dans la zône polaire par une influence anodique même faible. Ainsi nous avons vu maintes fois une contraction d'ouverture obtenue en appliquant l'électrode positive d'un courant de 30 ou 40 éléments sur le nerf, diminuer et disparaître sous l'influence d'un courant polarisateur augmenté successivement de 1 à 3 ou 4 éléments.

Nous ferons observer à cette occasion l'impossibilité d'expliquer un semblable résultat sur la théorie de la "Summation" (addition ou soustraction) des forces électromotrices défendue, non sans un certain degré de plausibilité, par Runge et adoptée sans examen par nombre d'auteurs.

Nous procédons dans l'épreuve de l'électrotonus du nerf humain par des courants induits comme dans celle par le courant galvanique, sauf que nous nous dispensons de la clef de Helmholtz et intercalons simplement la bobine secondaire dans le circuit du courant polarisateur. Il est à observer que l'un des courants induits, celui de fermeture ou celui de rupture, doit nécessairement circuler dans une direction opposée à celle du courant polarisateur. De là deux ordres de phénomènes à observer, selon que l'électrode exploratrice représente (1°) la cathode ou l'anode des deux courants ; (2°) la cathode de l'un et l'anode de l'autre.

Avant de décrire les faits observés, rappellons que le courant induit, ayant une durée infinitésimale, n'excite que comme coup de fermeture, c'est à dire dans la zône cathodique seulement ; et qu'avec l'arrangement ordinaire le courant

induit de fermeture est trop faible pour exciter le nerf.* Nous avons indiqué plus haut la manière d'égaliser l'action physiologique des deux courants induits (méthode de Henry). Toutefois ces considérations n'ont qu'une valeur pratique; les effets de tous les courants induits sont essentiellement les mêmes, et ne diffèrent que par leur intensité relative.† Ce que nous allons en dire s'applique à tous indifféremment avec cette seule restriction.

1. L'électrode exploratrice renferme la cathode ou l'anode du courant polarisateur et du courant excitateur (en d'autres termes, les deux courants circulent dans le même sens) : l'effet des excitations est augmenté dans les deux cas. Lorsque c'est la double cathode qui est appliquée sur le nerf, c'est la zône polaire qui est sous l'influence de la cathode *virtuelle* du courant polarisateur, et qui reçoit l'excitation cathodique du courant induit. Lorsque c'est la double anode qui repose sur le nerf, c'est la zône péripolaire qui est ainsi polarisée et excitée. Dans les deux cas, par conséquent, le résultat coïncide avec la formule de Pflüger, qu'il y a augmentation d'excitabilité dans la zône catélectronique du nerf.

Ajoutons qu'ici, comme dans toutes nos expériences, nous trouvons que l'effet est plus marqué dans la zône polaire (ou la densité électrique est plus considérable) que dans la zône péripolaire, et que l'excitabilité augmente avec chaque augmentation dans la force du courant polarisateur jusqu'à ce que la limite maximale soit atteinte. L'épreuve par la méthode des contractions minimales donne des résultats identiques. Un courant induit beaucoup plus faible suffira pour exciter le nerf polarisé que le nerf normal, et cela quelque soit le signe électrique de la double électrode.

* Il est à observer toutefois que ce courant excite des contractions notables lorsqu'il frappe une zône nerveuse sous une influence cathodique un peu intense — contrairement à ce que dit Brückner. Ce fait d'ailleurs n'est qu'une confirmation des résultats obtenus par l'usage des autres courants.

† Avec la restriction faite ailleurs touchant leur diffusion inégale selon les conditions de l'expériences.

Nous observerons en passant que c'est faute d'avoir tenu compte de la diffusion des courants et des zônes électrotoniques de signes opposés dans le voisinage de l'électrode, que Runge et d'autres ont interprété l'augmentation de l'effet lorsque la double anode est placée sur le nerf comme étant d'origine physique et non physiologique. Outre que le paradoxe n'est qu'apparent, un fait important a échappé à ces auteurs : c'est l'augmentation inégale entre l'effet de la double anode et celui de la double cathode. Si cette augmentation était due à une addition algébrique des forces électromotrices, elle suivrait une marche parallèle dans les deux cas ; or il n'en est pas ainsi, et nous avons vu que l'inégalite s'explique tout naturellement par la polarisation plus faible de la zône péripolaire où la densité du courant est moindre.

2. La double électrode renferme la cathode de l'un des courants et l'anode de l'autre (en d'autre termes, le courant galvanique et le courant induit circulent dans un sens opposé l'un à l'autre). Il y a d'abord diminution de l'effet ; puis, en renforçant la force du courant polarisateur, une recrudescence de l'effet, avec tendance à dépasser l'effet normal.

Il est évident que lorsque l'électrode contient les pôles de signes opposés des deux courants, l'excitation (cathodique) du courant induit tombera toujours dans la zône anodique du courant polarisateur. Il y aura donc diminution de l'effet, plus, marquée lorsque l'excitation tombera dans la zône polaire ou la densité électrique — c'est à dire, l'effet polarisateur, plus considérable que dans la zône péripolaire : d'où le phénomène important à noter, que l'affaiblissement dans l'effet est plus rapide lorsque c'est la cathode faradique qui est sur le nerf, que lorsque c'est l'anode faradique — fait impossible à expliquer sur la théorie d'une soustraction algébrique des forces électromotrices mises en jeu.

L'importance et la nouveauté des résultats que nous avons obtenus ici, et la complexité des conditions expéri-

mentales, réclament quo nous considérions le sujet de plus près. Nous le ferons en décrivant trois expériences typiques :

A.—Choisissant une force de courant faradique telle que, lorsque l'anode est sur le nerf, les contractions donnent des traces de hauteur moyenne, nous introduisons dans le circuit un courant galvanique de direction opposée, de telle sorte que l'électrode soit l'anode du courant excitateur, et la cathode du oourant polarisateur. Le courant galvanique est renforcé graduellement par l'addition de nouveaux éléments. Les contractions diminuent aussitôt, et disparaissent lorsque le nombro des éléments atteint 10-12, demeurent absentes quelques instants, et paraissent de nouveau lorsque 12-14 éléments sont en circuit. Renforçant toujours le courant polarisateur, nous observons que l'amplitude des contractions, à chaque excitation faradique, augmente graduellement jusqu'à ce que lorsque le chiffre de 22-24 éléments soit atteint. Les contractions sont alors égales à celles enregistrées avant l'expérience. Renforçant encoro le courant polarisateur, nous voyons que l'amplitude des contractions continue à augmenter jusqu'à ce que la douleur produite par le courant polarisateur (28-30 éléments) nous force à suspendre l'expérience.

B.—Nous répétons l'expérience en changeant le sens des deux courants, de sorte que l'électrode exploratrice contienne l'anode du courant polarisateur et la cathode du courant excitateur. La diminution dans l'amplitude des contractions est plus graduelle, atteignant son minimum vers 14 éléments ; leur abolition n'est pas complète, et leur recrudescence est plus lente aussi. Vu la douleur, il ne nous est pas possible d'arriver au point où la hauteur des contractions dépasse la normale.

C.—Reprenant la combinaison polaire de l'expérience A, nous choisissons uno force d'excitation sous-minimale du courant d'induction, et introduisons dans lo circuit un courant polarisateur. Renforçant graduellement celui-ci,

nous arrivons à un degré de polarisation où les contractions commencent à se manifester. Ce degré variera nécessairement avec la différence entre la force du courant excitateur employé et celle nécessaire à l'excitation minimale. — L'expérience réussira plus difficilement avec la combinaison polaire B, à cause de la force du courant polarisateur nécessaire pour augmenter l'effet de l'excitation faradique cathodique jusqu'au dessus de la normale.

Ces expériences, on le voit, renversent de fond en comble l'échafaudage expérimental et théorique de Runge ; la "Summation" des forces électromotrices — c'est à dire, leur addition ou soustraction algébriques selon que la double polarité de l'électrode exploratrice est du même signe ou de signes opposés — n'existe que dans l'imagination de cet observateur trop prompt à tirer des conclusions d'expériences incomplètes.

Nous donnons l'explication suivante des phénomènes que nous venons de décrire, à titre d'hypothèse probable seulement : Nous avons à faire ici à des phénomènes physiologiques du même ordre que ceux observés sur le nerf de la grenouille. Nous savons en effet que la force du courant détermine dans ce nerf l'étendue relative de la région anélectrotonique et celle de la région catélectrotonique intrapolaire. Plus le courant polarisateur est intense, plus la région anélectrotonique se développe au dépens de la région catélectrotonique. Chez l'homme nous avons un phénomène semblable — seulement dans un ordre renversé : c'est la zône cathodique qui empiète sur la zône anodique. L'énorme différence entre les conditions expérimentales qui gouvernent les deux ordres de phénomènes renferme sans doute l'explication de la différence entre les résultats obtenus sur le nerf isolé et sur le nerf vivant, et maintenu dans ses rapports normaux avec les tissus qui l'entourent. Mais pour le moment nous devons nous borner à constater les faits ; il est peut-être utile cependant de rappeler ici que les phénomènes observés sur le nerf humain correspondent à ceux observé sur le nerf préparé, en ce que dans les régions extrapolaires de ce dernier le catélectronus augmente et

l'anélectrotonus diminue avec l'augmentation du courant polarisateur.

Une autre considération importante, et sur laquelle nous reviendrons plus loin en parlant de la loi des contractions, est la facilité avec laquelle on obtient sur l'homme la contraction de durée cathodique, tandis que sur le nerf de la grenouille c'est le tétanos de l'ouverture que l'on observe.

Ajoutons en terminant que la difficulté que nous avons éprouvée pour obtenir dans l'expérience B les mêmes résultats que dans l'expérience A, s'explique facilement sur notre hypothèse. En effet, dans l'expérience A il s'agit d'une invasion de la zône anélectrotonique *péripolaire* par la zône catélectrotonique *polaire* — c'est à dire, de la zône où la densité électrique et la polarisation sont moindres — par la zône de polarisation plus active ; tandis qu'en B c'est le contraire qui a lieu. Nous ne nous étonnerons donc pas si cette invasion est plus difficile à obtenir dans un cas que dans l'autre. Quoi qu'il en soit, nous avons dans cette différence même un argument irréfragable en faveur d'une explication physiologique des phénomènes, en opposition aux assertions prématurées de Runge sur l'interférence mutuelle des forces électromotrices mises en jeu.

Nous avons longuement exposé les raisons théoriques pour lesquelles la méthode "bipolaire" n'est pas admissible dans l'épreuve de l'électrotonus chez l'homme. Nous avons aussi montré que les recherches d'Erb venaient confirmer expérimentalement ces données. Nous avons cependant cru devoir nous assurer par nous-mêmes de la réalité des phénomènes décrit par cet auteur.

Plusieurs considérations nous y engageaient. D'abord nos méthodes plus sévères ne pouvaient que nous donner des résultats plus certains, et mettre à jour des faits qui pouvaient avoir échappé à nos devanciers. La discrimination du pôle faradique employé dans les épreuves, et l'usage nouveau des chocs galvaniques de fermeture et d'ouverture, devaient aussi élargir le champ de nos recherches. Nous

pouvions espérer recueillir de nouvelles preuves à l'appui de nos conclusions, et jeter quelque lumière sur l'antagonisme entre les résultats d'Erb et ceux d'Eulenburg.

Nous disposons l'expérience de la manière suivante : Les électrodes du courant polarisateur sont placées l'une (de large surface) sur un point éloigné du corps, l'autre (de petite surface) sur le nerf choisi pour l'investigation. Il en est de même pour les électrodes du courant explorateur ; celle qui repose sur le nerf est placée soit au dessus soit au dessous de l'électrode polarisatrice. L'effet produit (contraction musculaire) est enregistré comme toujours sur le cylindre.

Les excitations se font au moyen de coups de fermeture et de rupture d'un courant galvanique ; ou par les chocs de fermeture et de rupture d'un appareil à induction rendus égaux par la méthode de Henry décrite ci-dessus. Le nerf qui se prête le mieux à l'expérience est le péronier, qui présente un parcours superficiel suffisamment long pour que les deux électrodes s'y puissent appliquer commodément.

La méthode bipolaire offrant par elle-même tellement de sources d'erreurs, nous n'avons pas cherché à provoquer dans nos expériences le phénomène de "l'invasion catélectrotonique." Il est fort possible toutefois qu'il s'y soit produit et fût responsable de certains des résultats contradictoires ou négatifs que nous avons obtenus et que nous cherchons à expliquer sur d'autres principes.

Dans le tableau suivant nous résumons les résultats de trente expériences faites avec les courants d'induction d'après la méthode bipolaire. Nous les classifions en trois catégories de "Négatifs," "Contradictoires," "Confirmatoires." Les lettres F et G, avec le signe + ou −, indiquent la polarité des électrodes polarisatrice et exploratrice. Les abbréviations (aug.) et (dim.) indiquent la

modification subie par les contractions normales sous l'influence de la polarisation :

	Confirm.	Contrad.	Négatifs.
F – G –	3 (dim.)	——	4
F + G +	5 (dim.)	1 (aug.)	2
F – G +	3 (aug)	1 (dim.)	5
F + G –	7 (aug.)	——	—

Les deux cas où les résultats ont été contradictoires à la majorité de nos résultats et à la théorie des zônes sont probablement dus à une modification du nerf résultant d'une polarisation antérieure. L'examen des cas où le résultat est négatif nous montre que 9 fois sur 11 l'exploration avait lieu au moyen de la cathode faradique ; et que 8 fois sur 11 c'était le courant de rupture qui était employé. Ces chiffres sont significatifs ; nous avons indiqué plus haut (voyez p. 20) les particularités qui différentient les courants induits au point de vue de l'épreuve électrotonique. Les résultats négatifs peuvent s'expliquer par la diffusion moindre du courant faradique quand il s'agit pour eux d'exciter dans leur zône d'action péripolaire ; ou leur concentration considérable quand il s'agit d'exciter dans la zône péripolaire du courant polarisateur, où l'altération électrotonique est toujours moins accentuée.

Nous n'insisterons, du reste, pas sur ces explications plus ou moins hypothétiques. Nous constaterons plutôt le fait que, si nos résultats par la méthode bipolaire sont infiniment moins probants que ceux par notre méthode, ils sont en somme d'accord avec les données d'Erb. Ils expliquent peut-être aussi les différences qui subsistent entre les conclusions de cet observateur, et celle d'Eulenburg, par exemple. La polarité de l'électrode faradique joue un rôle important dans l'expérimentation—rôle qui n'a peut-être pas été suffisamment reconnu avant nous

Les expériences suivantes vont mettre ce point en évidence.

Le tableau ci-dessous exprime nos conclusions quant à l'examen du nerf polarisé, au dessus ou au dessous du point de polarisation, au moyen de coups de fermeture et de rupture du courant galvanique. Les abbréviations se comprendont facilement :

L'EFFET DE	AU DESSUS DE G −	AU DESSOUS DE G −	AU DESSUS DE G +	AU DESSOUS DE G +
KC	Dim.	Dim.	Augm.	Augm.
AC	Dim.	Augm.	Augm.	Dim.
AO	Dim.	Dim.	Augm.	Augm.
KO	——	Augm.	——	——

Ce qui nous frappe tout d'abord c'est la régularité des résultats de KC et AO, et leur conformité avec ce que la théorie des zônes fait présupposer. Les effets de KC et AO pendant G − sont diminués parce que l'excitation tombe sur une partie du nerf dont l'excitabilité est diminuée. L'inverse a lieu pour les effets pendant G +. Nous n'avons pas rencontré d'exceptions à cette régularité dans le cours de nos expériences. Les effets de l'excitation AC ont varié selon la position de l'électrode. Au dessus du point de polarisation tant par G − que G +, l'effet a été peu marqué, mais indubitablement dans un sens opposé à ce que nous attendions. Au dessous l'effet a confirmé la théorie. Encore une fois nous voyons l'incertitude qu'amène dans notre sujet d'expérimentation le manque de coïncidence absolue entre les zônes de polarisation et d'excitation. Quant à l'effet du KO augmenté pendant G −, nous avons été étonnés nous-mêmes de le trouver si nettement accusé, quoique cette augmentation rentre parfaitement dans le cadre normal. Nous la voyons, du reste, présente là où la disposition des électrodes nous donnaient des effets confirmatoires avec AC. Or il saute

aux yeux que AC aussi bien quo KO excitent dans la zône péripolaire ; et il est donc légitime de supposer quo dans cette position la relation du nerf et des tissus ambiants était telle que la diffusion des courants assuraient une coïncidence plus complète entre les points d'excitation et d'altération électrotonique.

Nous avons vu, dans le cours des observations précédentes, que les objections élevées au nom de la physique contre la réalité des phénomènes électrotoniques obsérves sur l'homme, ne supportaient pas le contrôle des faits. Poursuivons le scepticisme jusques dans ses derniers retranchements ; et démontrons par l'excitation mécanique du nerf les altérations de son éxcitabilité qui accompagnent les effets polaires d'un courant galvanique.

Nous ne reviendrons pas sur les considérations émises plus haut pour prouver la nécessité d'appliquer l'excitant au point même de l'altération polaire qu'il s'agit de démontrer — nécessité aussi absolue dans l'emploi d'excitants mécaniques que dans celui d'excitants électriques. Afin d'assurer la coïncidence exacte de la région du nerf excitée mécaniquement avec celle polarisée, il est nécessaire de transmettre l'excitation par l'intermédiaire de l'électrode elle-même.

Le point que nous choisissons comme le plus favorable à l'expérience est le coude à l'endroit où le nerf cubital se laisse facilement découvrir sous la peau et repose sur une surface osseuse résistante. Là nous pouvons ordinairement (quoique chaque individu ne se prête pas facilement à l'essai) obtenir des contractions régulières, en y appliquant une petito électrode montée sur un manche de bois que l'on frappe de coups égaux — avec un marteau ordinaire, par exemplo. Ce mode d'expérimentation assez grossier en apparence, et qui ne se prête guères à l'enregistrement graphique, donno cependant des résultats suffisamment clairs pour être convaincants. Il va sans diro que nous n'offrons l'expérience qu'à titro d'expérience de contrôle, et comme démontrant les grandes altérations polaires d'excitabilité. A ce titro ello est une confirmation précieuso des résultats obtenus

par l'exploration électrique, laquelle seule est capable de dévoiler les gradations insensibles et les phases délicates de ces altérations.

Voici la marche que nous suivons d'habitude dans nos expériences : Le sujet, placé dans une position commode, maintient l'électrode soigneusement appliquée sur le point d'élection ; un certain degré d'intelligence et d'habitude sont nécessaire pour cet acte apparemment simple. Une seconde personne frappe des coups mesurés sur l'électrode ; une troisième enfin ouvre et ferme les courants et observe les effets. A la rigueur, deux personnes suffisent ; l'une sert de sujet, et en même temps opère la polarisation et observe les effets ; l'autre tient l'électrode et manie le marteau.

Lorsque nous sommes arrivés à obtenir une série bien régulière de contractions normales, un courant de 20 éléments ou plus est lancé dans l'électrode, et les effets sont notés. Lorsque c'est la cathode qui est sur le nerf, la région excitée (polaire) est cathodique, et l'effet est augmenté ; le contraire a lieu lorsque c'est l'anode qui repose sur le nerf. — Nous répétons que les effets (augmentation, abolition des contractions) sont tellement évidents dans une expérience réusssie que le doute n'est pas possible. Ajoutons que les fibres sensibles du nerf sont polarisées en même temps que les fibres motrices. Le retentissement des excitations à la périphérie est augmenté ou diminué selon l'état électrotonique du nerf : ainsi nous obtenons une preuve subjective de la réalité objective des phénomènes.

Il n'est pas inutile d'ajouter ici qu'afin d'obvier à l'effet que pourraient avoir des changements dans la force du courant dus à la compression des intéguments, nous pouvons intercaler de grandes résistances supplémentaires dans le circuit et ainsi éliminer cette source d'erreurs sans nuire à l'effet. Il est évident, en outre, que l'abolition des contractions pendant la polarisation anodique est incompatible avec une explication physique des phénomènes, laquelle ne saurait s'appliquer qu'à l'augmentation observée pendant la polarisation cathodique.

L'étude des altérations de l'excitabilite nerveuse consécutives au passage d'un courant galvanique nous a livré des résultats pleinement confirmatifs de ceux obtenus sur le nerf de la grenouille. C'était cette partie de nos recherches qui était la plus exposée aux différentes sources d'erreurs que nous avons signalées plus haut. La régularité de nos résultats contrastait si vivement avec les quelques données contradictoires ou incertaines mentionnées par les auteurs qui se sont occupés de ce sujet, que nous nous sommes d'abord crus le jouet d'illusions. Mais nos expériences répétées un grand nombre de fois, dans des conditions diverses, et avec toutes les précautions possibles, n'ont cessé de confirmer nos premières conclusions. Jusqu'à présent nous nous sommes bornés à constater l'existence de certaines modifications dans l'excitabilité nerveuse, mais n'avons fait aucune recherches précises sur leur profondeur et leur durée : nous nous bornerons donc à dire qu'elles sont d'autant plus marquées (dans les limites physiologiques) que la polarisation a été plus considérable.

L'épreuve des modifications consécutives par les courants induits présente quatre phases, selon que l'électrode exploratrice faradique est négative ou positive, et selon que la polarisation précédente a été anodique ou cathodique.

1. Lorsqu'après une polarisation suffisamment intense avec la cathode du courant galvanique on excite avec la cathode du courant faradique, il y a d'abord diminution de l'effet, puis augmentation progressive jusqu'à ce qu'on obtienne une exaltation au dessus de la normale. La diminution peut en arriver à une abolition complète des réactions, et durer plusieurs secondes. L'exaltation pout durer longtemps — nous l'avons constatée jusques à près de deux heures après l'ouverture du courant.

2. Lorsqu'apres une polarisation suffisamment intonse avec l'anodo du courant galvaniquo on excito avoc la cathode du courant faradique, il y a immédiatement uno exaltation considérable de l'effet au dessus do la normalo. Cetto oxaltation dure un temps considér-

able, quoique apparemment moins long que dans le cas précédent.

Dans les deux phases que nous venons de décrire, nous avons éprouvé l'excitabilité consécutive dans la zône polaire ; d'après ce que nous avons déjà souvent eu l'occasion de relever, les effets y sont plus marqués, quoique de même nature, que dans la zône péripolaire. Nous n'entrerons donc pas dans grands détails sur les deux autres phases :

3 et 4. Lorsqu'après une polarisation cathodique ou anodique on éprouve la excitabilité (dans la zône péripolaire) au moyen de l'anode du courant induit, on observe des résultats semblables à ceux décrits plus haut, mais proportionnellement moins marqués avec des intensités de courants égales.

L'épreuve par excitations de fermeture et d'ouverture du courant galvanique est plus compliquée, en ce qu'elle offre huit phases ; mais les résultats de nos investigations peuvent se résumer en disant que (1°) l'état d'excitabilité augmentée dans la zône cathodique passe, à la rupture du courant, par une période de diminution, laquelle fait place graduellement à une période d'augmentation prolongée ; (2°) l'état d'excitabilité diminuée dans la zône anodique fait place, à la rupture du courant, à une période d'augmentation de durée notable.

Nous nous résumons en disant que ces modifications s'observent à un haut degré dans la zône polaire, à un moindre degré dans la zône péripolaire ; et que le genre d'excitation (coup de fermeture, coup d'ouverture) n'influe en rien sur le résultat.

Nos observations sur les 8 phases susdites peuvent commodément se réduire à un tableau, où KC, KO ; AC, AO représentent les coups de Clôture et d'Ouverture selon que l'électrode exploratrice est la Kathode ou l'Anode du courant excitateur ; tandis que nous représenterons par G+ et G− la polarisation précédente au moyen de l'électrode positive ou négative.

L'EFFET de l'excitation par	après	est d'abord	est ensuite	LA ZONE excitée	avait pendant la polarisation son excitabilité :
1. KC	G −	diminué	augmenté	polaire	augmentée
2 KO	G −	augmenté	?	péripolaire	diminuée
3. AC	G +	diminué	augmenté	péripolaire	augmentée
4. AO	G +	augmenté	diminué	polaire	diminuée
5 KC	G +	augmenté	augmenté	polaire	diminuée
6. KO	G +	diminué	?	péripolaire	augmentée
7. AC	G −	augmenté	augmenté	péripolaire	diminuée
8. AO	G −	diminué	?	polaire	augmentée

Nos résultats sont incertains quant à l'effet consécutif ultérieur dans trois cas de contractions d'ouverture (2, 6, 8). Cela provient de la nécessité, pour obtenir des contractions d'ouverture, de se servir de courants de durée suffisante pour altérer l'état électrotonique du nerf. En outre la force des courants nécessaire pour obtenir des contractions d'ouverture dans la zône péripolaire (KO) offre de grandes difficultés dans l'expérimentation. Dans la phase 4 nous avons pu, nous convaincre, de la diminution rapide de l'excitabilité dans la période ultérieure; phénomène évidemment analogue à la disparition spontanée de la contraction anodique d'ouverture dans les séries normales.

La méthode par excitation mécanique se prête mal à l'investigation des effets consécutifs de la polarisation; aussi nous sommes nous bornés à constater l'altération principale dans l'excitabilité, c'est à dire l'augmentation sensible tant après l'anélectrotonus et le catélectrotonus polaires. La démonstration de la modification négative après le catélectrotonus s'obtiendrait sans doute par des procédés et des manipulations très délicates.

Résumons nos résultats concernant les modifications consécutives du nerf :

1. Après un catélectrotonus suffisamment énergique et prolongé, l'augmentation dans l'excitabilité du nerf fait place à une diminution qui peut aller jusqu'à une abolition complète, et durer plusieurs secondes.

2. A cette modification négative succède une modification positive de longue durée.

3. Après l'anélectrotonus le nerf passe dans un état de modification positive de longue durée.

Nous avons indiqué plus haut (p. 24), parmi les sources des erreurs auxquelles nos recherches étaient exposées, les altérations du nerf résultant d'expériences antérieures. L'étude des effets consécutifs vient de nous en faire comprendre la nature et l'importance. Ajoutons que toutes les expériences avec la méthode bipolaire dans lesquelles nous avons pu observer des effets consécutifs, ces derniers rentraient dans la formule que nous venons d'établir : augmentation d'excitabilité après les deux électrotonus.

Les effets des renversements de courant, ou alternatives voltianes, ont été formulés par Rosenthal, pour le nerf de la grenouille, en ces termes : Un courant augmente l'excitabilité du nerf pour la fermeture, la diminue pour l'ouverture, d'un courant dans le sens opposé. Chez l'homme les phénomènes se réduisent, autant que nos expériences nous permettent d'en juger jusqu'ici, aux simples effets consécutifs décrits plus haut. L'épreuve consiste à faire tomber un choc de fermeture sur une zône, qui se trouve nécessairement en état d'excitation augmentée après la disparition de l'anélectrotonus * — de là augmentation de l'effet produit (AC après KD ; KC après AD).

L'investigation approfondie des phénomènes est hérissée de difficultés techniques ; et nous avons dû la réserver pour des recherches ultérieures. Nous nous proposons seulement de mentionner ici la théorie de Brenner, laquelle a trouvé une certaine faveur auprès des électro-thérapeutes, qui la mentionnent souvent dans leurs traités. Lorsque, dit-il, on ferme ou qu'on ouvre un circuit avec 6 éléments on obtient l'effet d'un courant qui oscille entre 0 et $\pm$ 6. Lorsqu'on

* Si le changement de direction était suffisamment rapide, et la polarisation anodique suffisamment énergique, on aurait l'effet du choc de fermeture ajouté à celui d'ouverture : une stimulation double.

renverse le courant, les oscillations sont de - 6 à + 6, et de + 6 à - 6—égales à 12, par conséquent. Donc l'effet est égal à 12. Cet effet est toujours plus marqué lorsque la commutation a lieu du pôle positif au pôle négatif.

Voyons d'abord, au point de vue de la physique, ce que peut signifier cette théorie de l'auteur russe. Précisons d'abord les termes. Au lieu de 6 éléments, nous dirons une force électromotrice de 6 volts. "Un courant" signifie une certaine quantité d'électricité circulant dans l'unité du temps. Or par la définition (loi d'Ohm) le "courant" est égal à la force électromotrice divisée par la résistance; donc un "courant de 6 éléments" ne peut "osciller entre - 6 et + 6"; ni même, à parler strictement, "entre 0 et 6." Si nous prenons la résistance dans le circuit comme égale à 600 ohms, nous aurons un courant qui oscillera, à l'ouverture et à la fermeture, entre 0 et 10 milliwebers, et qui restera constamment égal à 10 milliwebers si l'on fait des alternatives voltianes instantanées. Jamais le courant ne sera égal à 12 milliwebers comme s'il oscillait de 0 à 12 éléments (ou volts); seulement ce courant se dirigera alors tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. La quantité d'électricité circulant dans le nerf (densité) sera toujours égale; ce qui changera ce sera (1°) l'état électrotonique de ce nerf, et (2°) son potentiel relativement au potentiel de la terre. Par la définition des termes, un changement de potentiel sans décharge d'une certaine quantité d'électricité ne peut produire de travail. C'est donc le changement subit dans l'état électrotonique du nerf qui en dernière analyse peut seul expliquer l'effet produit.

Cet effet est réductible aux deux facteurs mentionnés plus haut: (1°) addition de deux excitations dans le nerf (choc d'ouverture, choc de fermeture); (2°) choc de fermeture frappant une zône dont l'excitabilité est augmentée (ou diminuée) par la polarisation antérieure.

L'effet est plus grand lorsque le changement a lieu "de + 6 à —6," parce qu'alors l'excitation tombe dans la zône polaire, où la densité des courants polarisateur et excitateur est plus considérable.

Nous en venons aux faits directs de l'expérimentation. La méthode graphique donne des résultats incompatibles avec l'explication pseudo-physique de Brenner. Si nous inscrivons une série de contractions obtenues au moyen de chocs de fermeture d'un courant de 12 volts, éloignés les uns des autres par des périodes variant de quelques secondes à quelques minutes, l'excursion du levier inscripteur accusera une égalité absolue entre ces contractions. Si nous nous servons, au contraire, d'alternatives voltianes et d'un courant fourni par 6 volts, les effets seront bien différents: les contractions seront fort inégales et varieront selon la répétition de l'excitation et selon la durée de la polarisation anodique antérieure. Elles seront, au commencement de chaque série, plus considérables que celles produites par la simple fermeture du même courant, puis diminueront plus ou moins rapidement. Ce n'est pas tout. Si nous polarisons un nerf par la cathode d'un courant un peu fort, puisque nous renversions le courant pour un instant et le ramenions ensuite à sa direction première, nous trouverons que l'effet de cette dernière alternative voltiane est moins considérable que celui d'une simple fermeture du même courant dans le nerf normal. Pour parler le langage de Brenner, l'effet "de +6 à −6" est moins marqué que celui "de 0 à −6." Donc nous ne saurions attribuer l'effet de la commutation à une pure influence "physique." Au contraire, tout s'explique sur les principes physiologiques que nous venons d'établir. Une polarisation cathodique suffisamment forte et prolongée a pour effet consécutif une diminution notable et persistante de l'excitabilité nerveuse. Si dans ces conditions on soumet le nerf à une courte polarisation anodique, l'effet de la commutation sera diminué, parce que l'excitation tombera dans une zône de modification négative que la polarisation anodique n'a pas eu le temps de neutraliser.

La théorie de Brenner est donc aussi opposée aux données experimentales qu'elle est intenable au point de vue de la physique.

Il ne paraît pas qu'aucune expérience ait été faite jusqu'ici sur l'électrotonus des nerfs sensitifs de l'homme. Quelques

physiologistes ont cherché à le déterminer sur le nerf de la grenouille, en comparant l'amplitude des mouvements réflexes produit par l'excitation du nerf avant et pendant la polarisation. Leurs résultats ont souvent été négatifs ou contradictoires. Récemment, pourtant, Hällsten* a cru pouvoir conclure de ses expériences à un parallélisme entre les phénomènes observés sur le sensitif et sur le nerf moteur.

Nous n'avons rien à ajouter à la description que nous avons donnée plus haut de la disposition de nos appareils et des précautions à prendre pour éliminer les effets provenant de changements dans la force des courants. Nous avons suivi pour l'électrotonus des nerfs sensitifs la même méthode que pour celui des nerfs moteurs. Nous explorons le nerf au moyen d'une petite électrode, tandis que l'autre, plus large, est fixée sur un point éloigné du corps ; le courant polarisateur et le courant explorateur forment un seul circuit.

Tous les nerfs cutanés se prêtent également à nos recherches, depuis les rameaux frontaux du trijumeau jusqu'aux filets digitaux du tibial antérieur. On peut aussi employer quelques nerfs mixtes superficiels le cubital, le péronier, etc.), mais dans ce cas on doit soigneusement éviter de confondre la sensation de contraction musculaire avec celle due à l'excitation des fibres sensitives proprement dites. De même, dans le cours de l'expérience, l'observateur doit savoir distinguer et mentalement éliminer la sensation de brûlure occasionnée par le courant polarisateur au point d'application de l'électrode.

Les sensations dont nous avons à tenir compte sont de deux sortes : celles qui prennent leur origine dans les filaments nerveux distribués à la peau sous-jacente à l'électrode, et dans leur terminaisons nerveuses ; (2) celles occasionnées par l'action du courant sur les troncs nerveux sous-jacents. Ces dernières se reconnaissent facilement en ce que l'esprit les localise non au point excité, mais dans les parties de distribution ultime du tronc nerveux. Elles ont, de plus, un caractère spécial qui rappelle de loin les douleurs irradiées de

* Nordiskt Med. Arkiv., 1880.

la névralgie, ou plutôt les fourmillements qui succèdent à la compression d'un nerf.

Appelons enfin l'attention sur un fait intéressant — c'est qu'il est possible de provoquer ces sensations d'irradiation avec des chocs électriques trop faibles pour exciter les éléments nerveux terminaux situés immédiatement sous l'électrode. Cette particularité, qui se constate avec facilité dans le nerf sus-orbitaire, par exemple, facilite la discrimination des sensations adventices de celles qui forment l'objet de nos expériences.

Nous ne saurions toutefois être assez pénétrés des difficultés qui entourent l'investigation exacte de l'excitabilité des nerfs sensitifs chez l'homme. Si d'un côté nous échappons à la nécessité d'avoir recours à une méthode indirecte d'enregistrer l'effet produit (actions réflexes), de l'autre nous sommes réduits à une méthode d'estimation purement subjective. Les expériences multipliées sur "l'équation personnelle," et autres sujets semblables, ont mis en évidence le rôle de l'attention et de la prévision dans la réaction consciente de l'individu. L'influence de la répétition d'excitations sensorielles, de la relativité entre la force d'excitations successives, doit être mise en ligne de compte dans la comparaison de résultats divers. La méthode par excitations minimales est seule possible dans a plupart des expériences sur les nerfs sensitifs. Or nous savons combien est variable le "seuil d'excitation" (Reizschwelle), selon que les circonstances que nous venons d'énumérer diffèrent, et selon qu'on le recherche en procédant par série d'excitations ascendante ou descendante.

Enfin il nous reste à mentionner un point qui ne paraît pas être encore reconnu en physiologie. C'est la possibilité d'obtenir dans les troncs nerveux des phénomènes d'addition ("Summation") d'excitations sous-minimales lorsque celles-ci sont répétées avec une fréquence suffisante. L'addition latente a été mise en lumière pour les terminaisons nerveuses par un grand nombre d'observations sur l'homme et les animaux. Les expériences sur les troncs nerveux de

la grenouille n'ont pas abouti, et ne paraissent pas encore avoir été faites sur ceux de l'homme.

Prenant en considération ce que nous avons dit plus haut sur la facilité avec laquelle on provoque des sensations irradiées en excitant un nerf mixte ou cutané chez l'homme, nous n'avons eu qu'à essayer l'effet d'excitations égales en force, mais augmentant en fréquence.*

Une série d'expériences préliminaires nous a permis de conclure que l'addition latente des excitations se manifeste dans le nerf aussi bien que dans les appareils terminaux chez l'homme.

Un détail qui n'est pas sans importance dans l'interprétation des phénomènes est le fait que, si la partie du nerf excitée est en même temps soumise à l'influence de la cathode galvanique, l'addition latente se manifeste plus nettement encore. Nous allons voir que cette influence détermine une exaltation de l'excitabilité nerveuse sensitive. L'addition latente pourrait-elle bien être due à une propriété de la fibre nerveuse, aussi bien que des organes terminaux, centraux ou périphériques? ou ne serait-elle qu'un effet de modifications post-électrotoniques de courte durée, produites par le courant excitateur lui-même? Nous nous bornons ici à constater les faits sans chercher à les expliquer.

Les résultats pratiques des faits que nous venons d'exposer sont que, dans les expériences relatives à l'excitabilité des nerf sensitifs chez l'homme, nous devons avoir égard aux considérations suivantes :

1. Le rhythme des excitations exploratrices doit être lent et uniforme.

2. Les résultats ne doivent être acceptés que lorsqu'ils sortent des limites moyennes des variations accidentelles.

3. Les conditions d'expérimentation doivent être aussi variées que possible.

* L'expérience la plus simple consiste à comparer l'effet de chocs induits isolés avec celui d'une série de chocs rapides obtenus au moyen d'un interrupteur à diapason. — Nous nous sommes servi principalement d'un interrupteur automatique construit par Gaiffe, donnant de 2 ou 3 à 50 ou 60 interruptions par seconde. La fréquence des interruptions y est réglée au moyen d'un levier mu avec la main.

L'exploration de l'excitabilité d'un nerf sensitif par des chocs de fermeture du courant galvanique dans la zône polaire et la zône péripolaire, avant, pendant et après la polarisation de ce nerf, s'opère d'une manière essentiellement conforme à la description donnée plus haut pour le nerf moteur. Nous déterminons d'abord la déviation galvanométrique, ou le nombre d'éléments nécessaires pour atteindre "le seuil d'excitation" du nerf normal — puis répétons le procédé pour les différents degrés de polarisation auxquels nous soumettons ce nerf.

Une expérience typique nous a fournis les nombres suivants. On observera que l'effet est plus marqué dans la zône polaire, où la densité du courant est plus grande, que dans la zône péripolaire.*

Force du courant polarisateur		0	2	4	6	8
Ditto excitateur	polaire	9	6	5	4	2
	péripolaire	10	8	6	5	3

Ces chiffres nous montrent que pour le nerf sensitif comme pour le nerf moteur l'excitabilité est augmentée dans la zône de l'influence cathodique.

L'exploration par les chocs de rupture du courant galvanique a une importance spéciale pour les nerfs sensitifs, en ce qu'elle nous dispense d'employer la méthode par stimulation minimale. Ainsi nous prenons un courant de 30 éléments qui donne un choc de rupture bien marqué. Nous introduisons alors, élément par élément, un courant polarisateur dans le circuit. Immédiatement le choc d'ou-

* Il n'est peut-être pas inutile de rappeler ici que l'excitation de fermeture, ainsi que la polarisation cathodique, se font dans la zône polaire au moyen de la cathode, dans la zône péripolaire au moyen de l'anode des courants réunis.

verture est affaibli et va en diminuant jusqu'à abolition complète lorsque le chiffre de 5 ou 6 éléments est atteint : l'excitabilité du nerf sensitif est diminuée dans la zône de l'influence anodique.

L'exploration des altérations électrotoniques des nerfs sensitifs par les chocs d'induction se fait essentiellement par les mêmes procédés que ceux décrits plus haut à l'occasion des nerfs moteurs, et nous fournit les résultats suivants :

A.—L'effet d'un choc d'induction sur un nerf sensitif est augmenté lorsque l'excitation tombe dans la zône cathodique du courant polarisateur. Nous donnons un tableau des chiffres obtenus dans une série d'observations prises dans des conditions différentes ; pour faciliter la comparaison nous ajoutons deux séries de chiffres moyens fournis par des expériences sur un nerf moteur (péronier).

Force du courant polarisateur.	Variations dans l'excitabilité de nerfs sensitifs, exprimés en termes de la distance de la bobine secondaire.										Ditto : nerf moteur	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	a	b
nul	100	107	110	122	127	110	127	100	100	115	116	113
faible	142	115	118	128	133	12[illegible]	133	115	148	130	127	118
plus fort ...	160	120	124	136	139	126	139	122	166	141	153	137

B.—L'effet d'un choc d'induction sur un nerf sensitif est d'abord diminué, puis augmenté de nouveau lorsque l'excitation tombe dans la zône anodique du courant polarisateur. Ce phénomène est absolument semblable à celui que nous avons trouvé sur le nerf moteur, et nous ne savons lui donner d'autre explication qu'une invasion de la zône anodique par l'influence catélectrotonique lorsque le courant polarisateur dépasse une certaine force. Il n'est peut-être pas aussi facile à constater sur le nerf sensitif, à

cause de la douleur cutanée occasionnée par un courant galvanique un peu intense. Les chiffres ci-dessous montre que le phénomène se produit plus facilement dans la zône péripolaire que dans la zône polaire.

Nombre des éléments du courant polarisateur.		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	30	40
Distance de la bobine secondaire au 'seuil d'excitation.'	Zône péripolaire	102	92	88	86	87	92	95	101	104	107	111	114	116	—	—
	Zône polaire	115	—	—	—	—	85	—	—	—	—	75	—	—	80	85

Nous avons dit vers le commencement de ce travail que la méthode par excitations mimimales se prête mal pour l'investigation des effets consécutifs. Or c'est la seule que nous puissions employer dans le cas des nerfs sensitifs. Aussi nous bornerons nous à constater en termes généraux que, quoique nos expériences à ce sujet nous aient assez souvent donné des résultats peu accentués ou négatifs, cependant, dans un grand nombre de cas, nous avons trouvé une coïncidence bien marquée entre les effets observés sur les nerfs sensitifs et ceux observés sur les nerfs moteurs. C'est à dire, que tant après la polarisation anodique qu'après la polarisation cathodique, nous avons trouvé une augmentation de l'excitabilité, précédée dans le dernier cas par une période courte mais appréciable de diminution.

Comme conclusion générale, nous dirons que les phénomènes de l'électrotonus suivent dans le nerf sensitif une marche parallèle à celle qu'ils suivent dans le nerf moteur de l'homme.*

* Les nerfs sensitifs de l'homme d'ailleurs ont une loi de contraction, en tous points semblable à celle des nerfs moteurs et dont nous allons nous occuper—un fait généralement passé sous silence, mais qui est un corollaire obligatoire des faits de l'électrotonus. — Nous avons dit en passant (p. 40) que la méthode d'épreuve par chocs mécaniques donne des résultats au point de vue des fibres sensitives, autant qu'à celui des fibres motrices.

La " loi des contractions " chez l'homme a, depuis que Brenner a mis en vogue la méthode unipolaire de stimulation, été l'objet de recherches fréquentes. Les travaux de Ziemssen, Filhene, Burckhardt sont trop connus pour que nous en parlions longuement ici. La plupart des traités d'électro-thérapie contiennent des aperçus sur cette question, que, du reste, nous avons déjà traitée précédemment au point de vue historique et critique (Brain, 1880).

Pflüger a démontré que l'excitation du nerf dépend de l'apparition de l'état catélectrotonique et de la disparition de l'état anélectrotonique. Puis donc que nous avons, dans la partie précédente de ce travail, donné une démonstration expérimentale de l'existence et de la distribution de ces états dans un nerf humain soumis à l'influence d'une électrode placée sur la peau, nous n'aurons pas de peine à déduire à priori une " loi des contractions." Si nos déductions correspondent aux résultats de l'observation directe, nous aurons non seulement formulé, mais expliqué la loi. En même temps, nous aurons confirmé l'exactitude des principes, desquels le raisonnement nous aura permis de tirer une déduction juste.

Lorsque la cathode est sur la peau, la zône polaire dans le nerf sous-jacent est cathodique ; tandis que c'est la zône péripolaire qui est cathodique quand l'anode répose sur la peau. L'apparition subite du catélectrotonus dans chacune de ces zônes produira une contraction, plus forte lorsqu'il s'agira de la zône polaire, parce que le courant y a une densité plus considérable (Du Bois Reymond).

L'inverse aura lieu pour la disparition de l'anélectrotonus.

En d'autres termes, la contraction de fermeture sera plus forte lorsqu'on appliquera la cathode sur la peau, celle d'ouverture lorsqu'on appliquera l'anode. En d'autres termes, KCC > ACC ; et AOC > KOC. L'accord le plus complet règne sur ce point entre les conclusions du raisonnement et les résultats de l'expérience.

Mais il y a plus. La densité relative entre le courant dans la zône polaire et la zône péripolaire dépend d'une foule de circonstances qui nous échappent quant à leur détermination dans les cas individuels. Elle varie selon les conductivités relatives du nerf et des tissus environnants, et selon la position de l'électrode superficielle relativement au nerf. Lorsque dans les deux zônes le courant aura une densité très différente, KCC prédominera de beaucoup sur KOC, et AOC sur ACC. Dans le cas opposé, les contractions se succèderont plus rapidement.

KCC toutefois laissera toujours loin de lui le KOC, parce que l'apparition du catélectrotonus est par soi-même un stimulant beaucoup plus énergique que la disparition de l'anélectrotonus. Mais pour la même raison aussi un moment viendra bientôt où ACC = AOC, et même ACC > AOC. Ce moment arrivera lorsque l'électrode sera ainsi placée que la proportion entre la densité polaire et la densité péripolaire sera égale à la proportion entre l'énergie excitatrice du catélectrotonus naissant et celle de l'anélectrotonus disparaissant. Ou, pour réduire les faits à une formule algébrique, lorsque $\frac{D}{d} \overset{=}{>} \frac{A}{K}$; ou encore $DA \overset{=}{>} dK$.*

Or que trouvons nous enregistré dans tous les travaux sur la loi de contraction chez l'homme? Que KCC vient toujours comme premier, KOC toujours comme dernier terme de la série; et que AOC et ACC varient dans l'ordre de leur apparition, arrivant souvent ensemble, souvent l'un après l'autre, selon la position de l'électrode relativement au nerf.† Les déductions de nos principes reçoivent aussi la

* Cette formule a déjà été employée par nous dans le travail déjà cité (Brain, 1880). A et K y représentent la force excitatrice de l'anélectrotonus disparaissant, et du catélectrotonus naissant; D et d, les densités électriques dans la zône polaire, et dans la zône péripolaire. Ces densités varient indirectement avec l'étendue des "électrodes virtuelles" auxquelles elles correspondent. (Voir le schema ci-dessus.)

† Chauveau (Comptes rendus, 1875-76) est en contradiction directe avec les résultats de 20 années d'observations innombrables en généralisant les résultats qu'il a obtenus par l'excitation unipolaire du nerf de la grenouille et les appliquant à l'homme. Jamais on n'a vu l'effet du pôle positif surpasser celui du pôle négatif sur le nerf humain. Dans nos recherches nous avons

sanction de l'expérience. Nous formulerons donc notre pensée quant aux réactions du nerf humain exploré selon la méthode unipolaire en disant que : L'apparition de contractions de fermeture anodique (ACC) et d'ouverture cathodique (KOC), ainsi que la variabilité dans l'ordre des contraction d'ouverture et de fermeture anodiques (AOC et ACC), s'expliquent sur de simples principes physiques. Nous opposons cette explication à celle de Burckhardt : " Die ASZ und die KOZ sind der Ausdrück der durch die umgekehrte Stromrichtung verstärkten chemischen Polarisation." * — comme rendant mieux compte des faits observés, et n'ayant pas besoin d'appeler à son aide des théories encore hypothétiques sur les phénomènes moléculaires du nerf.

Lorsque le muscle est en voie de dégénérescence, on observe le phénomène curieux du renversement de la formule normale des contractions. C'est à dire que le choc anodique de fermeture devient plus énergique que le choc cathodique de fermeture ; et le choc cathodique d'ouverture plus énergique que le choc anodique d'ouverture (ACC > KCC ; KOC > AOC). L'explication n'en a pas été encore donnée, à notre connaissance ; celle que nous allons présenter est encore hypothétique, vu que nous n'avons pas eu l'occasion de la vérifier expérimentalement. Elle servira néanmoins à illustrer les principes exposés plus haut, et nous fournira l'occasion de préciser les termes du problème plus qu'ils ne l'ont été jusqu'ici.

L'augmentation de ACC et KOC peut provenir soit d'un renversement dans la zône polaire de l'effet physiologique des deux électrotonus ; soit d'un renversement de

enregistré peut-être plus de cent mille contractions : la méthode graphique confirme pleinement les conclusions des observations antérieures. Quelque soit la force du courant faradique ou galvanique, le pôle négatif est toujours plus actif que le pôle positif à la fermeture du courant, et le pôle positif plus actif que le pôle négatif à l'ouverture.

* " Physiologische Diagnostik "(p. 130). Comment l'auteur réconcilie-t-il son hypothèse avec ce qu'il dit si justement à la p. 120 : " Die Zuckungen können sich wesentlich ändern wenn die Elektrode scheinbar nur wenig verschoben wird."

l'effet relatif des excitations polaires et péripolaires. Dans le premier cas, ACC > KCC, parce que l'anélectrotonus naissant agitait comme excitation, et AOC > KOC, parco que le catélectrotonus disparaissant agissait de même. Une telle supposition, nous paraît, tellement hasardée, tellement dénuée de probabilité, voire même opposée à la marche générale des phénomènes, que nous ne saurions la prendre en sérieuse considération. Lors donc il reste la théorie du renversement de l'effet relatif des excitations polaires et péripolaires : KCC > ACC dans le muscle sain, parce que dans le premier cas l'excitation frappe la zône polaire, où la densité électriquo est plus considérable. Dans le muscle malade l'exeitation serait plus énergique lorsqu'elle frappe la zône péripolaire, où la densité électrique est plus faible. Voyons eomment expliquer l'apparent paradoxe d'un courant diffus ayant un effet plus considérable qu'un courant plus dense.

La fibre musculaire en dégénérescence est charactérisée par la difficulté avec laquelle l'excitation se propage d'une de ses extrémités à l'autre. Ainsi nous voyons que la contraction en est plus lente, et tend à se limiter à la portion directement excitée. Elle se rapproehe au cela, comme à d'autres égards, du tissu museulaire lisse ; son individualité physiologique est rompue ; elle se partage, pour ainsi dire, en plusieurs parcelles, plus ou moins indépendantes.

En même temps, son excitabilité galvanique persiste ; elle est même exagérée d'une notable manière pendant une période du processus dégénératoire.

Or afin de provoquer un racourcissement un peu considérable d'une fibre musculaire, il faut que toute sa longueur prenne part à l'acte de la contraction. Si la contraction se localise sur un point limité, le racourcissement ne sera pas fort apparent. Dans un muscle en dégénérescence, par conséquent, plus les fibres perdront la faculté do se contracter en masse par suite d'une excitation même forte, portant sur une faible partio de leur longueur, plus la différence entre l'effet d'une telle excitation, et celui d'une excitation même faible, mais portant sur une plus grande étendue, —

plus cette différence, disons-nous, diminuera. Il y aura compensation : d'un côté nous aurons le coup cathodique de fermeture (KC) plus fort mais plus localisé, de l'autre le coup anodique (AC) plus faible mais excitant une plus grande longueur de la fibre. Plus la dégénérescence progresse, plus la propagation de l'excitation diminue et plus l'avantage de KC faiblit. L'effet de AC augmente proportionnellement, aidé au début par l'hyperexcitabilité galvanique du muscle, devenant d'abord égale à celui de KC, puis le dépassant.

Ce que nous venons de dire des contractions de fermeture s'applique aussi à celles de rupture, lesquelles, du reste, sont d'importance secondaire à cause de leur peu de développement lorsqu'il s'agit de l'excitation directe de la fibre musculaire, et qui ne tardent pas à disparaître avec les progrès de la dégénération.*

Disons quelques mots, pour terminer, du tétanos d'ouverture et du tétanos de fermeture ou de durée. Ce dernier (KDTe et ADTe) s'obtient très facilement sur l'homme, et figure comme le quatrième degré de la loi des contractions de Brenner et Ziemssen. Il est notoire que sur la grenouille le tétanos de fermeture est un phénomène exceptionnel ; tandis que sur cet animal

* Tout récemment nous avons cherché à établir expérimentalement notre explication sur les muscles en dégénérescence de l'homme. Les résultats, que nous ne décrirons pas au long ici, nous font renoncer à l'hypothèse émise ici dessus comme suffisante pour tout expliquer. Le muscle réagit plus lorsque c'est l'anode qui est appliquée sur la peau, lorsque que c'est la cathode qui est introduite dans le muscle sous la forme d'une aiguille. Une large électrode n'existe pas plus qu'une étroite électrode négative. Ces données, qu'une lettre de M. le professeur Erb nous apprend lui être familières, semblent incompatibles entre elles autant qu'avec notre hypothèse. Il nous paraît que la seule manière de prouver ce qui au fond est le point fondamental du problème, que l'excitation dans un muscle en dégénérescence part bien de la cathode à la fermeture du courant, est l'expérimentation sur le muscle préparé d'un animal, par la méthode des périodes latentes. Malheureusement la récente législation en Angleterre contre la vivisection nous obligent à renvoyer l'exécution de notre plan à un prochain séjour à l'étranger. Nous laissons toutefois subsister notre hypothèse, ne fût-ce qu'à titre de simple vue de l'esprit. Ajoutons que Biedermann a démontré les effets polaires (KCC > ACC) sur le muscle curarisé. (Sitzungsberichte der K.K. Akad. d. Wissehft., v. 79, p. 289.)

le tétanos d'ouverture, inconnu chez l'homme, est un phénomène ordinaire. D'où vient cette différence?

Il nous sera peut-être permis de hazarder une conjecture. Nous avons enregistré plus haut (pp. 33 et 51) des faits qui nous ont fait conclure à un empiètement de l'influence catélectrotonique sur l'influence anélectrotonique lorsque le courant polarisateur atteint une certaine force. Pourrait-on rattacher le phénomène du tétanos de fermeture à cette hypothèse, et l'interpréter comme la manifestation d'un catélectrotonus envahissant? C'est ce que des expériences ultérieures pourront peut-être nous autoriser à faire.

Quant au tétanos d'ouverture chez la grenouille, il s'expliquerait, sur des principes semblables, par le fait de l'intensification de l'influence anélectrotonique, soit par la durée, soit par le renforcement du courant polarisateur. Chez l'homme, au contraire, nous avons vu que les contractions d'ouverture diminuent rapidement pendant le cours d'une expérience. Ce fait, conjointement avec la donnée hypothétique d'une invasion de la zône anodique, s'il ne nous fournit pas une explication des phénomènes, nous indique au moins une solution possible du problème, et la direction à donner à un travail futur.

Londres: Imprimerie de RANKEN ET CIE., Drury House, St. Mary-le-Strand.